

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2005-532184

(43)Date of publication of application : 27. 10. 2005

---

(21)Application number : 2004-519975

(71)Applicant : RANDALL

(22)Date of filing : 02.07. 2003

(72)Inventor : RANDALL

---

(54) TITLE: APPARATUS AND METHOD FOR PRODUCING AMBULATORY MOTION

(57)Abstract:

An ambulatory mechanical leg system drives a mechanical leg (100, 21) with a crank (91) to pivot about a pivot axis (102) to produce uniform rectilinear motion at the distal end (41) of the leg (100, 21) during a stride stroke (51) portion of a crank revolution or cycle and then lifts the distal end (41) to fast-return it in a step stroke (61) during the remainder of the revolution to a starting point for the next stride stroke (51). The crank (91), leg (100, 21) and pivot axis (102) sizes and proportional lengths or distances are modeled to an angular profile that produces nearly constant velocity, and mechanical structures maintain nearly rectilinear motion, of the distal end (41) of the leg (100, 21) during the stride stroke (51).

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-532184

(P2005-532184A)

(43) 公表日 平成17年10月27日(2005.10.27)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 5/00	B 2 5 J 5/00	2 C 1 5 0
A 6 3 H 11/20	A 6 3 H 11/20	3 C 0 0 7
A 6 3 H 29/00	A 6 3 H 29/00	Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 41 頁)

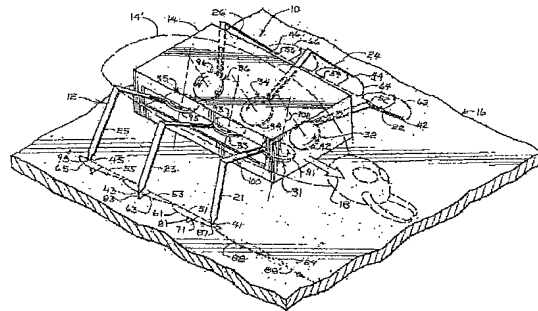
(21) 出願番号	特願2004-519975 (P2004-519975)	(71) 出願人	504470783
(86) (22) 出願日	平成15年7月2日 (2003.7.2)		ランドル, ミッチ
(85) 翻訳文提出日	平成17年1月24日 (2005.1.24)		RANDALL, Mitch
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/021227		アメリカ合衆国、コロラド 80304、
(87) 国際公開番号	W02004/005119		ボルダー、ホーソーン プレイス、26
(87) 国際公開日	平成16年1月15日 (2004.1.15)		30
(31) 優先権主張番号	60/394,057		2630 Hawthorne Plac
(32) 優先日	平成14年7月2日 (2002.7.2)		e, Boulder, CO 80302
(33) 優先権主張国	米国 (US)		(US)
		(74) 代理人	100066865
			弁理士 小川 信一
		(74) 代理人	100066854
			弁理士 野口 賢照
		(74) 代理人	100066885
			弁理士 斎下 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 歩行運動装置および方法

## (57) 【要約】

歩行機械脚システムはピボット軸（102）の回りを旋回するクランク（91）を用いて機械脚（100、21）を駆動して、クランク回転またはサイクルのストライドストローク（51）の間、脚部（100、21）の末端部（41）に一定直進運動させ、次に残りの回転部分の間、ストライドストローク（61）で末端部（41）を持ち上げ、それを迅速に次のスライドストローク（51）の始点に戻す。クランク（91）、脚部（100、21）およびピボット軸（102）は一定の大きさにして、その長さまたは距離の割合は、ほぼ一定速度を生み出す角度プロフィールにモデル化される。そして機械構造体が、ストライドストローク（51）中の脚部（100、21）の末端部（41）がほぼ直進運動するように維持している。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

本体から伸びる複数の脚部を含み、各脚部が駆動機構と結合する基端部および床、地面、道路、板またはその他の表面等の支持面上に本体を接触して支えるのに適した末端部を有している、机、板、道路、地面またはその他の表面等の支持面上を輸送手段、玩具またはその他本体を支持して動かす移動装置であって、前記駆動機構および脚部が、脚部の基端部の全てまたは一部を含むか、または脚部と結合できる脚部レバーであって、クランクに隣接するピボット位置でクランクと結合して拘束されており、クランクが360度回転の一部を回転するとき脚部末端部を本体に対し直線路に動かし、クランクが360度の回転を完了するとき脚部末端部を持ち上げそれを直線路の始点に戻す該脚部レバーを特徴とする移動装置。

10

## 【請求項 2】

クランクの一定角速度が直線路に沿った末端部の一定直線速度を生み出す請求項 1 に記載の移動装置。

## 【請求項 3】

クランクの一定角速度が直線路に沿った末端部の一定速度を生み出し、また末端部が持ち上がり始点に戻る際に末端部のより早い速度を生み出す請求項 1 に記載の移動装置。

## 【請求項 4】

クランクが、クランクを駆動し一定の前進角速度で回転させることができるモーターと結合している請求項 1 に記載の移動装置。

20

## 【請求項 5】

モーターがクランクを駆動して可変前進角速度ならびに逆向きの一定および可変角速度で回転させることができる請求項 4 に記載の移動装置。

## 【請求項 6】

クランクが半径距離に於いてクランク軸の回りを回転し、前記クランク軸はピボットから横方向距離に配置されており、そして該半径距離および横方向距離は  $Q = A \tan(VR / \omega d)$  に極めて近い角度関係を生ずるような相互に比例関係にあり、上記式中の R はクランク軸およびピボットを通り伸びるラインとクランク軸およびクランクを通り伸びるラインとが成す角度であり、式中の Q はクランク軸およびクランクを通り伸びるラインとピボットおよびクランクを通り伸びるラインとが成す角度であり、そして式中の V、 $\omega$  および d は本発明の記載の中で画定された通りの変数であり、そのためクランクの一定角速度  $\omega$  が直線路での末端部の一定直線速度 V を生み出す請求項 1 に記載の移動装置。

30

## 【請求項 7】

脚部レバーはピボットに対する横運動については拘束されているが、ピボットに対し縦方向には摺動可能である請求項 6 に記載の移動装置。

## 【請求項 8】

ピボットに対し摺動可能となるよう脚部レバーに溝孔が付けられている請求項 7 に記載の移動装置。

## 【請求項 9】

クランク軸が支持面に対して90度未満および0度より大きな角度で傾斜している請求項 7 に記載の移動装置。

40

## 【請求項 10】

脚部レバーがクランク軸対し垂直である面内を動く請求項 9 に記載の移動装置。

## 【請求項 11】

クランクが約270度回転する間、末端部が一定速度で直線路を動く相互比率に半径距離および横方向距離が調整されている請求項 6 に記載の移動装置。

## 【請求項 12】

輸送手段が本体両側それぞれに3本ずつ、6本の脚部を有しており、そして各脚部の駆動装置が各側脚部の少なくとも2本が常にそれぞれの直線路内を動くように同期している請求項 11 に記載の移動装置。

50

## 【請求項 1 3】

輸送手段が本体両側それぞれに 2 本ずつ、4 本の脚部を有しており、そして各脚部の駆動装置が 4 本の脚部の少なくとも 3 本が常にそれぞれの直線路内を動くように同期している請求項 1 1 に記載の移動装置。

## 【請求項 1 4】

本体各側にある他 2 本の脚部間に 1 本ずつ、合計 2 本の偽脚を備えていて、一側の偽脚が若干長く、そして反対側の偽脚は若干短く、更に前記偽脚は垂直から後方には旋回するが垂直から前方には旋回しないため、他 4 本の脚部が前進運動する間は長いほうの偽脚が引きずられ、そして他 4 本の脚部が逆方向に動く間は本体片側および本体同側の 2 本の脚部を持ち上げる請求項 1 3 に記載の移動装置。

10

## 【請求項 1 5】

末端部に蝶番式に取り付けて膝ヒンジを形成している下向きに伸びる脚部ストラット、膝ヒンジ部下で脚部ストラットに蝶番式に取り付けられているスタビライザーストラット、および膝ヒンジ部と結合しているリフトストラットを包含し、前記リフトストラットが第一クランクと同期して膝ヒンジ部を本体に向かって内側に牽引し、それにより第一クランクが末端部を駆動して直線路の始点に戻すときに膝ヒンジ部および脚部ストラットを持ち上げる第二クランクと結合している請求項 6 に記載の移動装置。

## 【請求項 1 6】

脚部レバーがクランクに対し縦方向に摺動できる溝孔を持ち、そしてピボットでの横および縦方向の動きに対し拘束されている請求項 1 5 に記載の移動装置。

20

## 【請求項 1 7】

前記末端部が足部である請求項 1 に記載の移動装置。

## 【請求項 1 8】

前記末端部の足部を包含する請求項 1 に記載の移動装置。

## 【請求項 1 9】

支持面上の物体を支持して推進するストライドストロークおよび支持面上に末端部を持ち上げて次のストライドストロークを開始させるために末端部を戻すストライドストロークに続くステップストロークを含むサイクルで機械脚部の末端部を動かす装置であって、前記装置が、ストライドストローク中は末端部を一定速度で動かし、ステップストローク中は加速および減速速度で動かす手段と、

30

ストライドストローク中は末端部の運動を物体に対し実質直線路に保ち、ステップストローク中は物体に対しアーチ形路に保ち支持面上に維持するための手段とを含む装置。

## 【請求項 2 0】

末端部を動かす手段が、機械脚部をピボット軸の回りで旋回させるための機械脚部に結合したクランク手段を包含している請求項 1 9 に記載の装置。

## 【請求項 2 1】

クランク手段がクランク軸の回りを半径距離で回転するクランクピンを包含しており、クランクピンのクランク軸回りの回転によって機械脚部がピボット軸の回りを前後に旋回するように前記機械脚部が前記クランクピンに結合している請求項 2 0 に記載の装置。

40

## 【請求項 2 2】

ピボット軸が、クランク軸から前記半径距離よりも長い距離離して、クランク手段と隣接させ配置されている請求項 2 1 に記載の装置。

## 【請求項 2 3】

末端部を通り伸び、ピボット軸およびクランク軸を通り伸びる第一直線に対して垂直であるピボット軸と平行なストライド面が存在する様に、末端部のクランク軸からの距離が、ピボット軸のクランク軸からの距離よりも遠くに末端部を配置して機械脚部が構成されている請求項 2 2 に記載の装置。

## 【請求項 2 4】

ピボット軸およびストライド面の間に、前記第一直線ラインに沿って距離  $d$  がある請求

50

項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 5】

クランク軸に対し垂直であり、クランク軸およびクランクピンを通して伸びる第二直線が存在し、ピボット軸に対し垂直であり、ピボット軸およびクランクピンを通して伸びる第三直線が存在する請求項 2 4 に記載の装置。

【請求項 2 6】

第一直線と第二直線とがなす角度  $R$ 、および第一直線と第三直線とがなす角度  $Q$  が存在し、更に角度  $R$  と角度  $Q$  は共にクランクピンがクランク軸の回りを回転するときに変化する請求項 2 5 に記載の装置。

【請求項 2 7】

クランク軸からクランクピンまでの半径距離およびクランク軸からピボット軸までの横方向距離が、角度プロフィール  $Q = \text{ARCTAN}(V R / \omega d)$  に基づきモデル化される角度  $R$  と  $Q$  の関係になるように、即ち  $V$  が前記ストライド面に於ける前記直進路内の遠端部の前記一定速度であり、 $\omega$  はクランク軸周囲を回転するクランクピンの角速度であり、そして  $d$  はピボット軸と前記ストライド面との間の前記第一直線に沿った前記距離である、クランク回転の一部をなすように、相互に比例関係に調整されている請求項 2 6 に記載の装置。

10

【請求項 2 8】

複数の機械脚部を用いて、物体を支持面上に支持して推進する方法であって、

各機械脚部をクランク軸の回りを半径距離で回転できるクランクピンと結合するステップと、

20

かかる機械脚部を、クランク軸に対し平行であり、クランク軸から横方向距離を離して配置されており、前記側方距離が半径距離より大きいピボット軸に、旋回可能な形で拘束するステップと、

半径距離と横方向距離を調整して角度プロフィール  $R = \text{ARCTAN}(V R / \omega d)$  をモデル化して、クランク軸周囲のクランクピン回転がストライド部にある間、クランク軸周囲のクランクピン回転の角速度  $\omega$  に対して前記機械脚部の末端部が一定速度になるようにする、この場合  $R$  はクランク軸およびピボット軸を包含する平面とクランク軸およびクランクピンを包含する面とが成す角度であり、 $Q$  はクランク軸とピボット軸を包含する面とクランク軸と機械脚部が支持面上に接触する点とを包含する面とが成す角度であり、そして  $d$  はピボット軸と平行であり、且つ機械脚部の支持面上の接触点を通して伸びる平面に対する、ピボット軸からの垂直距離である、ステップと、

30

クランクピンをクランク軸の回りを回転させるステップとを含む方法。

【請求項 2 9】

クランク軸の回りをクランクピンが回転するストライド部の間、支持面上の機械脚部の接点を直進路内に維持するように機械脚部を拘束するステップを含む請求項 2 8 に記載の方法。

【請求項 3 0】

クランク軸の回りをクランクピンが回るストライド部の後に機械脚部を持ち上げるステップと、次の回転のストライド部を開始する始点に戻す残りの回転の間に、機械脚部を支持面より上に動かすステップとを含む請求項 2 9 に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

【関連出願】

本出願は 2002 年、7 月 2 日出願の米国仮出願番号 60/394,057 号および 2003 年 2 月 7 日出願の米国仮出願番号 60/445,981 号について優先権を主張する。上記仮出願は、参照によりここに組込まれている。

【0002】

本発明は脚型運動構造体上の物体に歩行推進を模擬させるシステム、より詳細には支持

50

面上でかかる脚型構造体に一定直進運動させて上記物体を安定、且つ制御可能な様式にて推進させる脚型構造体および関連駆動システムに関する。

【背景技術】

【0003】

ロボットビークルから玩具のムシまで、物体を推進させる脚型の機械システムを作製する試みが数多く行われてきており、そのうちの幾つかはその機能を果たすことができるものである。しかし、機械的な制御システムの複雑さを最小限にとどめた安定した装置を得るという課題は未だに達成されていない。例えば従来技術の脚型機械構造体の多く、特に非関節式および単純関節式の脚型機械構造体の多くは、各ステップを進行する際に物体をいくらかボビング（上下）および／またはウィーピング（横揺れ）および／またはサージ

10

20

【0004】

しかし、単純な、関節式および非関節式の機械的脚構造体の場合には、この様なボビング、ウィーピングおよびサージ運動のいずれか一つ、または全てがインパルスとなり、これがチャタリング、牽引力の損失および制御不能を引き起こし、場合によっては、物体はバランスを崩し、進路を外し、そして／または床、地面もしくはその他支持面外に出て、ひっくり返ることさえある。またこの様なボビングおよびウィーピングはエネルギーを浪費させ、その結果効率が低下することもあり、また特に脚型構造体がステップサイクル中に物体および支持面に対し速度を変えて動く場合には、支持面上での無駄な脚の滑りも問題となる。これらの問題は、複雑に入り組んだ制御システムを持つ関節式脚構造体により緩和することも可能であるが、より単純で経費のかからない形で解決することが望ましい。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

それ故に本発明の目的は、様々な物体：もとよりこれらに限定されないが、例えば玩具、ロボットビークル、娯楽装置、輸送、武器システム等に適した良好な安定性および制御特性を持ち、歩行運動により物体を推進できる比較的単純な脚型システムを提供することである。

30

本発明の別の目的は、可動構造体上にある点を、ある物体に関して、循環的な一定直進運動させる機械的システムを提供することである。

本発明のその他目的、利点および新規特徴を以下の部分的に記述するが、その他の点は以下の記述および図面を検証することにより当業者に明らかになり、または本発明を実施することにより習得できるだろう。更に、本発明の目的および利点は添付の特許請求の範囲に具体的に指示した手段および組み合わせにより実現および達成できるだろう。

【課題を解決するための手段】

【0006】

40

本明細書に具体的および広範に記述されている本発明の目的に一致する上記およびその他目的を達成するために、移動装置および方法はクランクにより駆動して、該クランクに隣接して配置されたピボット軸の回りを回転するように配置された脚部レバーを包含するが、該脚部レバーはその末端部もしくは脚部レバーより伸びる脚部ストラットの末端部が、移動装置および方法により推進する本体に関し一定直進運動となるストライドストローク歩行により移動し、ストライドストローク歩行終了時には加速的に移行して、次の直進ストライドストローク歩行の始点にアーチ型のステップストローク歩行で戻る。クランクの寸法、末端部までの脚部レバーの長さ、およびクランク軸からピボットまでの距離の関係は、末端部または足部の速度が均一または一定となるように角度プロフィール  $Q = AR \cdot CTAN(VR/\omega d)$  で表されるように調整されている。末端部または足部の動きは、

50

幾つかある方法のいずれかによって直進的に拘束されている（直線運動）。

【0007】

実施態様の一つでは、脚部レバーは、クランク駆動脚部レバーがピボットに対し縦方向には動くことができるが横方向には動くことができない様に拘束できる。クランク駆動装置を支持面に対し傾斜させることにより、本例の末端部または足部が支持面の上に置かれた時には末端部または足部をクランクサイクルのストライドストローク時には本体に対し一定直進運動に拘束するが、しかしクランクサイクルのステップストローク時には末端部または足部を支持面の上方に持ち上げるように強制できる。ステップストロークを試みる場合、複数のその他脚部がその末端部または足部を支持面上に植設した状態および各ストライドストローク運動状態にあって、本体を支えている。

10

【0008】

別の実施態様では脚部レバーは、ピボット部では、脚部レバーに回転運動を与えるクランクピンに対し縦および横両方向に拘束できるが、脚部レバーが横方向に拘束されている間は縦方向に動くことができる。受動ストラットが末端部または足部を直進歩行のストライドストロークに強制し、そして能動ストラットがステップストローク中に末端部または足部を持ち上げる。

【0009】

本発明によるステップストロークに続いてストライドストロークを行い一定の直進運動をもたらす移動装置および方法のこれら実施態様には様々な変形が存在する。

更に、望まれる本発明の応用に応じて、最適なバランス、効率、外観およびその他属性にあった複式クランク駆動脚部、連動、位相またはシーケンス等の組み合わせが数多くある。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

本明細書の中に組込まれ、その一部を成している添付の図面は、本発明の好適実施態様を描写しており、記載の説明および特許請求の範囲と合わせ、本発明の原理を説明するものである。

【0011】

図1では便宜上歩行推進システム12を備えた物体10を一般的な箱形の本体14で表しているが、極細線で例としてムシ型本体14'を示したように、物体10に希望に応じた構成または形状の本体を提供することができる。歩行システム12を以下に示し詳しく説明するが、図1に示した幾つかの顕著な特徴は本発明の実施例の少なくとも1つと本発明の実施態様の全てに共通する概念および原理の幾つかを示すことができる。

30

【0012】

図1に示すように歩行推進システム12は、ムシ型の外観に合わせて、それぞれ駆動メカニズム31、32、33、34、35、36を持った6本の脚部ストラット21、22、23、24、25、26を含むか、または別の本数の脚部ストラットおよび付属する駆動機構を含むことができ、それらは物体10を支持面16の上を安定した形で推進する。支持面16は床、テーブル、ゲームボード、地面、プラットホームまたはその他多彩な構造体であろう。図1に示す物体10の本実施例では、脚部ストラット21、22、23、24、25、26は本体14を上を支えた状態で、支持面16の上でそれを押し進める。かかる推進力の向きは矢印18で示す様な前方向でも、または後ろ方向でもよい。輸送手段10はまた一定速度または速度を変えて推進することもできるが、このことは以下詳しく説明する様に、クランクの速度に対し個々の脚部ストラットの速度を望ましくなく、バラバラに変更することとは別である。物体10は、例えば本体14の片側の脚部ストラットを本体14の反対側の脚部ストラットより高速に動かすことによって、または以下に詳しく説明するその他操縦もしくは回転システムを用いて、片側もしくはその反対側に回転もしくは舵を切ることもできる。

40

【0013】

本発明の大きな特徴の一つは、脚部ストラット21、22、23、24、25、26の

50

少なくとも幾本もしくは全てを駆動し、ストライドストローク 5 1 中それぞれの末端部もしくは「足部」4 1, 4 2, 4 3, 4 4, 4 5, 4 6 を一定直進運動させることができ、そしてステップストロークではその足部を上方向に持ち上げ支持面 1 6 から離して、次のストライドストローク 5 1 の開始に備えることができることである。さらに詳しく説明すると、例えば図 1 の右前方の脚部ストラット 2 1 に注目せよ。物体 1 0 を支持面 1 6 の上方で均一、即ち一定速度で推進するために、脚部ストラット 2 1 は、その末端部または「足部」4 1 を、直線の、即ち循環パターンのストライド部またはストライドストロークと呼ばれる直進路 5 1 を含む循環パターンで動くように駆動する。続いてストライドストローク 5 1 が終了した時点で、足部 4 1 は本体 1 4 および支持面 1 6 に関し、循環パターンのステップ部またはステップストロークと呼ばれる曲線路 6 1 を上方向に動き、そして足部 4 1 は次のサイクルに備え直進路 5 1 の開始位置に戻る。直進路 5 1 運動、即ちストライドストロークの間、足部 4 1 は支持面 1 6 と接触し、物体 1 0 を支持して支持面 1 6 の上で物体 1 0 を推進する。続いてストライドストローク 5 1 終了時に、物体 1 0 を別の足部もしくはその他構造体で支えながら、足部 4 1 を支持面 1 6 の上方に持ち上げ、直進路 5 1 の開始位置に戻すステップストローク 6 1 を動く。

10

20

30

#### 【0014】

図 1 に示す歩脚システム実施態様例では、他足部 4 2, 4 3, 4 4, 4 5, 4 6 それぞれの典型的な循環経路でもある足部 4 1 の循環経路は支持面 1 6 に極細線で示したストライドストロークの直線路 5 1 をとり、このストライドストローク 5 1 に関する説明は、ストライドストローク 5 1 の経路を本体 1 4 との関係から眺めた場合にあてはまる。また図 1 の実施態様例のステップストローク 6 1 では、本体 1 4 と関連付け眺めた場合に、足部 4 1 は、本体 1 4 に関して外側 7 1 および上側 8 1 に伸びているステップストローク 6 1 のアーチ形路で動く。しかし、本体 1 4 は矢印 1 8 で示す様に前方向に推し進められるため、足部 4 1, 4 2, 4 3, 4 4, 4 5, 4 6 は図 1 に示す様に各ストライドストローク 5 1, 5 2, 5 3, 5 4, 5 5, 5 6 で駆動する場合、運動中の物体を静止画として描写する際には制限を伴うので、ある長さを有する直線として支持面 1 6 上に明瞭に描かれたストライドストローク 5 1, 5 2, 5 3, 5 4, 5 5, 5 6 は実際にはその通りではない。実際には、ストライドストローク 5 1 開始時に足部 4 1 が、例えば支持面 1 6 上のスポット 8 7 に植設されている場合、本体 1 4 は支持面 1 6 に対し前方向に推し進められる間、丁度ヒトが歩行ストライドで脚を前に進める時に床の上の一点に一方の足をしっかりと植設されている様に、前記足部をストライドストローク中、支持面 1 6 上のスポット 8 7 に植設されている。次に、足部 4 1 のストライドストローク 5 1 が終了する時点で、本体 1 4 は、残りの脚部ストラット 2 2, 2 3, 2 4, 2 5, 2 6 の幾つかによって矢印 1 8 が示す様に前方向に連続的に押し進められるが、その間足部 4 1 は支持面 1 6 から上に持ち上げられ、アーチ型の極細線 8 8 で示すように歩を前に進め、次のストライドストローク 5 1 を開始するために支持面 1 6 上の別のスポット 8 9 に植設される。即ち、図 1 のアーチ型の極細線 8 8, 8 8' は、支持面 1 6 に対する足部 4 1 の運動をより正確に描いており、一方極細線 5 1, 6 1 は本体 1 4 に対する足部 4 1 の動きを描いている。

#### 【0015】

もちろん、上記の如く、右前方脚部ストラット 2 1 およびその末端部にある足部 4 1 の動きの描写は、物体 1 0 を前方向 1 8 に推進した時の、他の脚部ストラット 2 2, 2 3, 2 4, 2 5, 2 6 およびそれらの各足部 4 2, 4 3, 4 4, 4 5, 4 6 の動きも表している。脚部ストラット 2 1, 2 2, 2 3, 2 4, 2 5, 2 6 およびそれらの足部 4 1, 4 2, 4 3, 4 4, 4 5, 4 6 の動きを逆にすると、もちろん物体 1 0 を逆方向、即ち矢印 1 8 と反対方向に推進する。

40

#### 【0016】

また、上記の如く、安定性を得るためには、足部 4 1, 4 2, 4 3, 4 4, 4 5, 4 6 の幾つかが一本体 1 4 の一方側で少なくとも 2 つ、そして本体 1 4 の他側で少なくとも 1 つが同時に各ストライドストローク内のいずれかの位置にあり、その結果いずれの瞬間においても遅れずに、少なくとも 3 つの足部が、相互に三脚（三角形）の関係にあって物

50



体 1 0 を支持面 1 6 の上に支持していることが好ましい。したがって、図 1 に示す実施態様例の各脚部ストラット 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5、2 6 がそれぞれ独自のクランク型駆動機構 3 1、3 2、3 3、3 4、3 5、3 6 で駆動している間、以下より詳細に説明する様に、かかる安定性を得るためにはそれらの間の位相を調整することが好ましい。一例を挙げれば、図 1 に例示するように、物体 1 0 の右側では、右後方足部 4 5 が支持面 1 6 上のスポット 9 8 の上に植設され、そのストライドストローク終了間近であるときに、右前方足部 4 1 は支持面 1 6 上のスポット 8 7 に植設されていて、まさにストライドストローク 5 1 を開始しつつあるところである。一方、右中央の足部 4 3 は支持面 1 6 の上高さ 8 3 に持ち上げられており、次のストライドストローク 5 3 にむかって進むステップストローク 6 3 の最中にある。右後方足部 4 5 がストライドストローク 5 5 の終点に達してステップストローク 6 5 の中で支持面 1 6 から持ち上げられるまでには、右中央足部 4 3 は支持面 1 6 上に植設され、そのストライドストローク 5 3 を開始する。同時に、右前方足部 4 1 は支持面 1 6 の上にまだ植設されており、ストライドストローク 5 1 のほぼ中間地点にある。次に、右前方脚部 4 1 が支持面 1 6 の上方でそのステップストローク 6 1 を行うまでに、右後方足部 4 5 は支持面 1 6 に戻り、次のストライドストローク 5 5 を開始し、そして右中央足部 4 3 は支持面 1 6 上にあって、そのストライドストローク 5 3 のほぼ中間地点にある。左足部 4 2、4 4、4 6 は、それぞれの駆動クランク機構 3 2、3 4、3 6 によって同様の形で位相調整され描かれている。したがって、例えば図 1 に示す実施態様 1 0 では、いずれの瞬間においても遅れずに必ず支持面 1 6 上に少なくとも 2 つの右足部と 2 つの左足部が在る。

10

20

#### 【0017】

本発明の、不可欠ではないものの重要であるその他特徴は、物体 1 0 が加速または減速中であるに関わらず、ストライドストローク中の足部の本体 1 4 に対する速さは一様であること、即ち一定速度であることである。ここでは用語「速さ」および「速度」は互換的に用いられ同一の意味、即ち長さの方向または座標系とは無関係に運動の速度を意味している。また物体 1 0 の同一側にある足部のストライドストローク速度は全て同一であり、そして物体 1 0 が右または左に回転する場合以外は、物体 1 0 の両側にある足部のストライドストロークの速度は全て同一である。かかる足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 の一定（一定速度）直進（直線）は、それら足部が各ストライドストローク 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6 の中で表面 1 6 と接触している間、物体 1 0 が本発明の歩行推進システム 1 2 を装備している場合には、物体 1 0 に極めて高い安定性を与える。物体 1 0 を右に舵取りまたは回転する場合は、右側の足部 4 1、4 3、4 5 のストライドストローク速度は、左側の足部 4 2、4 4、4 6 のストライドストローク速度に比べ遅いか、場合によっては停止もしくは逆行してもよい。逆に物体 1 0 を左に舵取り、もしくは回転する場合には、左側足部 4 2、4 4、4 6 のストライドストローク速度は、右側足部 4 1、4 3、4 5 のストライドストローク速度に比べ遅いか、場合によっては停止もしくは逆行してもよい。

30

40

#### 【0018】

ステップストローク中の足部が表面 1 6 から上に持ち上げられている間に、一定直進ストライドストローク中の足部だけが表面 1 6 上の物体 1 0 を支持し推進させるというこの組み合わせにより、本体 1 4 をボビング、ウィービングまたはサージングさせることなく支持面 1 6 に対しスムーズに動かすことができる。またこの組み合わせはある足部が別の足部の動きを妨害することを回避させるが、この妨害により、足部の引きずり、摩擦損失および駆動部の固着が起こる可能性がある。この様にして、物体 1 0 は転倒あるいは制御不能に陥ることなく、支持面上を最高速度で動き、加速、減速および回転することができる。本体 1 4 の各側にある 1 本またはそれ以上の足部、好ましくは本体 1 4 の左右それぞれの中央足部 4 3、4 5 に、ゴム製もしくはその他滑りにくい物質を取り付けて、摩擦力を大きくして回転時にピボット点として機能させながら、一方その他足部は回転時に若干滑らせて固着することを防ぐことができる。

#### 【0019】

50

本発明の、不可欠ではないものの特有の、都合のよい、望ましいその他特徴は、各ステップストローク 6 1、6 2、6 3、6 4、6 5、6 6 中の足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 の速度は、各ストライドストローク 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6 中の足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 の速度に比べ早いことである。換言すると、例えばストライドストローク 5 1 にある足部 4 1 の速度は、ストライドストローク経路 5 1 の全長で一様または一定であるが、ステップストローク経路 6 1 ではその速度を上げ、そして足部が次のストライドストローク 5 1 の始点に近づき、到達するとその速度をストライドストローク速度まで下げる。この特徴もまた、いずれの時点でも遅れずに 6 本ある足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 のうち少なくとも 3 本、好ましくは 4 本が必ず支持面 1 6 上に植設されていることを可能にし、そしてその状態を容易に保つことによって本発明の歩行推進システム 1 2 を装備した物体 1 0 の安定性および可転性に寄与する。

10

#### 【0020】

本発明の好適実施態様では、上記のように各脚部ストラット 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 はそれぞれのクランク 9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6 により駆動するが、これらクランクは一定速度で物体 1 0 を推進する場合には一定角速度で回転でき、支持面 1 6 に対し物体 1 0 を加速もしくは減速する場合、あるいは回転する場合には可変角速度で回転できるそれぞれの駆動機構 3 1、3 2、3 3、3 4、3 5、3 6 の一部である。それぞれの直進ストライドストローク 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6 にある足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 の速度は、以下詳しく説明するように、各駆動機構 3 1、3 2、3 3、3 4、3 5、3 6 のクランクホイール 9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6 の角速度に直接比例する。したがってクランク機構 3 1、3 2、3 3、3 4、3 5、3 6 内のクランクホイール 9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6 の角速度を加速または減速すると、それに比例し物体 1 0 は支持面 1 6 に対し加速または減速する。

20

#### 【0021】

図 1 に示す歩行推進システム 1 2 の好適実施態様例では、以下詳しく説明するように、足部運動循環のストライドストローク 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6 は、各クランク 9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6 の回転の半分以上、好ましくは約  $2/3$  を使用する。したがって足部運動循環のステップストローク 6 1、6 2、6 3、6 4、6 5、6 6 は各クランク 9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6 の回転の半分未満、好ましくは約  $1/3$  を使用する。この好適実施態様は、上記のようなストライド/ステップ循環位相順序および一側当たり 3 本の脚部ストラットの組を調整して、物体 1 0 の左右それぞれに 3 つある足部のうち少なくとも 2 つが常にストライドストロークにあり、そして残りの足部がステップストロークにあるようにするのが理想的である。この配置を実施するために、3 つの右側クランク機構 9 1、9 3、9 5 を互いに 120 度位相をずらして設置して運転され、そして 3 つの左側クランク機構 9 2、9 4、9 6 も互いに 120 度位相をずらして設置し運転される。しかし連動する脚部のかかる位相設定については、注意する点がある。なぜなら、これは幾つかの位相設定では物体 1 0 に安定した支持を提供しない脚位置がクランク循環内に 1 またはそれ以上存在するからである。例えば、3 つのクランク機構を互いに 120 度位相をずらして設定したものの、角度方向が不良な形で連動させた場合には、ある角度位置では連動する 3 つの足部、例えば足部 4 1、4 3、4 5 または足部 4 2、4 4、4 6 が互いに近接しすぎて植設され、物体 1 0 を不安定な状態にしてしまう。クランク循環の別の部分で位相が同じになると、末端脚部の一つが持ち上げられてステップストライドに入りながら、もう一端の脚部および中央脚部が踏ん張った状態ではなく、即ち物体 1 0 の重心が同一側になり、これによっても物体の支持が不安定となる。具体的には、以下詳しく説明するように、この望ましくない不安定例は隣接するクランク機構の後方に配置された各クランク駆動機構が、該隣接クランク駆動装置に対し約 105°～135°の範囲、特には約 120°遅れている場合に起こることがある。クランク機構のこの問題およびその他望ましくない位相遅延問題を回避するよう注意を払えば、別の循環位相順序を、図 1 の 6 脚実施態様 1 0 で用いることができ、なお良好な安定性を得ることができる。ストライドストロークに対しクランク回転の  $2/3$  が、そしてステップストロークに対し

30

40

50

てはクランク回転の  $1/3$  が与えられる望ましい位相関係では、以下詳細に説明するように安定した 4 脚型物体も可能である。もちろん本発明は、各ストライドストローク 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6 に対しクランク回転の  $1/2$  未満、例えば 5 度といった回転を用いることさえ包含し、また働かせることができるが、このような配置をして、それを実行するには、安定性を保つためにより多くのクランクおよび脚部の組立体を必要とするだろう。一般に、ストライドストロークに用いるクランク回転の角度が小さいほど、物体 1 0 の安定性を得るにはより多くのクランクおよび脚部組立体が必要となる。

#### 【0022】

次に足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 のストライドストローク 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6 で一定直進運動させるのに用いるクランク機構 9 1、9 2、9 3、9 4、9 5、9 6 に目を向けると、5 つある駆動機構 3 1、3 2、3 3、3 4、3 5、3 6 は全て実質的に同一である。したがって、これらクランク機構の一つだけ、例えば右前方のクランク機構 3 1 について詳しく説明するが、これは他のクランク機構 3 2、3 3、3 4、3 5、3 6 についても同様であると理解するものとする。

#### 【0023】

図 1 に示す歩行推進システム 1 2 を包含する本発明の歩行推進システムに利用される幾何学原理を図 2 に示す。駆動機構の機能は、脚部レバーが点 B で脚部レバー 1 0 0 を貫通して伸びる固定ピボット軸 1 0 2 の回りを回転するとき、脚部レバー 1 0 0 上のポイント D にある足部 4 1 を直進路 5 1 内に動かすことである。脚部レバー 1 0 0 は、ストライドストローク中の足部 4 1 の直進（直線）経路 5 1 と直交しているライン 1 0 4 と角度 Q を形成する。脚部レバー 1 0 0 が固定軸 1 0 2 の回りを回転して足部 4 1 を直進路 5 1 に沿って動くと、角度 Q は変化する。

#### 【0024】

足部 4 1 を一定の速さまたは速度 V で直進路 5 1 に沿って、矢印 1 0 6 が示す方向に動かすためには、角度 Q を一定速度以上で変化させる必要がある。任意の時間 t での足部 4 1 の移動距離、即ち直進路 5 1 上での位置は  $V \times t$  または  $V t$  である。垂直線 1 0 4 上の点 B と 0 間の距離 d は変わらない。したがって、距離  $V t$ 、距離 d、および角度 Q 間の数学的関係は次の通りである：

$$\tan(Q) = V t / d \quad (1)$$

そして任意の時間 t の角度 Q は次式から得られる：

$$Q = \arctan(V t / d) \quad (2)$$

式 (2) のこの関係は固定ピボット軸 1 0 2 を用いて脚部レバー 1 0 0 を、脚部レバー上の一点または複数の点またはその突起部を、直線路 5 1 に沿って一定の速さまたは速度 V で動かすことができる形で揺動する機構に適用される一般的な結果である。故に、直線路 5 1 に沿って一定直線速度 V で足部 4 1 を動かし続けるためにどのような技術を用いるかにかかわらず、角度 Q は式 (2) による角度変化プロファイルに従わなければならない。

#### 【0025】

脚部レバー 1 0 0 を式 (2) の角度変化プロファイルに極めて近いように揺動することができる駆動機構 3 1 の概略図を図 3 に示したが、この場合脚部レバー 1 0 0 上の点 D にある足部 4 1 がどのようにして直進経路 5 1 を正確に追ったかについては無視している。このクランク機構 3 1 では、式 (2) の角度プロファイルの近似値は、脚部レバー 1 0 0 が、点 B を貫通して伸びる軸 1 0 2 の回りを回転し、そしてクランク 9 1 により駆動されることで生じる。クランク 9 1 は、レバー、ホイールまたはその他の構造体でもよく、点 C を通って伸びる軸 1 0 8 の回りを回転し、そしてそれは結合クランクピン 1 1 0 により脚部レバー 1 0 0 と回転可能な形で結合している。クランクピン 1 1 0 は、脚部レバー 1 0 0 の点 A を通って伸びる軸を有している。クランクピン 1 1 0、即ち脚部レバー 1 0 0

上の点Aは、クランク軸108の回りを点CとA間の距離に等しい半径、即ち半径CAで回転する。クランク軸108はピボット軸102に関し不動位置に固定されており、したがってクランクピン110がクランク軸108の回りを回転すると、クランクピン112とピボット軸102間の距離ABは変わる。その結果、距離ABはクランク軸108とクランクピン110の間に伸びるクランクアーム112と、直進路51と直交するライン104とが成す角度Rの関数として変化する。ピン110がクランク軸108の回りを回転すると距離ABは変わること、および軸102が固定されていることから、何らかの方法により、固定軸102に関し脚部レバー100が横方向運動しないようにしながら、固定軸102に対する脚部レバー100の縦方向運動を調節する必要がある。かかる調節は以下詳しく説明する様に様々な方法により、例えば溝の付いた孔（図3には示していない）またはその他縦方向に摺動可能なガイドを利用することで実施できる。クランクアーム112が矢印114で示すようにクランク軸108の回りを回転する時に、このクランクおよびレバー駆動システム31の幾何学から生ずる運動は2つのパラメータ、即ち半径CAとクランク軸108からピボット軸102までの距離CBにより特徴付けることができる。

#### 【0026】

ここでは、直進路51はピボット軸102と平行であるストライド面のどこに於いてもラインBOと直交し、そして末端部もしくは足部41を貫通していなければならないが、末端部もしくは足部はクランク91と同一平面であっても、またはなくても良い。実際、以下に示すように、末端部または足部41は通常はクランク91の面（第一面）下から第一面の下にある別の面（第2面）に伸びて、クランク91および支持面16上にある物体10のその他部分を支持している。

#### 【0027】

上記の如く、クランク角度Rが一定の角速度 $\omega$ で進むとき図3の駆動システム31内の角度Qは式（2）の角度プロファイルに従い、上記の如く脚部レバー100上の足部41は直進路51に沿って一定速度Vで動くことが望ましい。クランクピン110は一定の角速度 $\omega$ で回転するとき、

$$R = \omega t \quad (3)$$

である。クランク角度Rと脚部レバー角度Qとの間には関連が見出せるが、それは時間tを式（3）のRの関数、即ち

$$t = R / \omega \quad (4)$$

として表し、式（2）のtを $R / \omega$ に置き換え

$$Q = \text{ARCTAN} (VR / \omega d) \quad (5)$$

として表せる。言い換えれば、脚部レバー100上の点Dにある足部41を直進路51に沿って一定の線速度Vで動かすには、クランクピン110が一定の角速度 $\omega$ で回転しているとすれば、脚部レバー角度Qは式（5）で示すクランク角度Rに一致しなければならない。

#### 【0028】

クランク半径CAおよびクランク軸108からピボット軸102までの距離CBに関する数値またはパラメータ（長さ）のセットを変えると、図3の概念的駆動機構31は脚部レバー角度Qとクランク角度Rとを関連付ける曲線群を生ずるだろう。数値を最適化したとき、具体的には距離CBのCAに対する比が1.53708である時に見出されるクランク半径CAおよび距離CBに関するパラメータのかかるセットの一つは、駆動機構31を式（2）および（5）の望ましい脚部レバー角度Qおよびクランク角度Rに非常に近似

させることができる。したがって、比が

$$|CB| / |CA| = 1.53708 \quad (6)$$

であるとき、クランクピン 110 は、クランク軸 108 の周囲、全 360 度のクランクピン 110 の回転の少なくとも一部を一定角速度  $\omega$  で回るため、図 3 の概念上のクランク駆動機構は足部 41 を直進路 51 に沿って一様の（一定）線速度  $V$  で動くだろう。

#### 【0029】

クランク半径  $CA$  と距離  $CB$  が式 (6) の比の時に得られる角度  $Q$  と  $R$  との関係を示す曲線を、比較のために正確な式 (2) の関数と重ねて図 4 に示した。図 4 に見られる様に、この技術、即ち式 (6) の比を持つこの種のクランク駆動システム 31 によって、式 (5) の望ましい角度プロファイルは、実際の  $Q$  と  $R$  の角度プロファイルの優れた近似値に近づく。足部 41 は、クランクピン 110 がクランク軸 108 の回りを約 240 度回転する間、一定直進運動を続ける。

10

#### 【0030】

具体的には、図 4 に示すように、クランクが約 60～300 度回転する間、即ちクランク角度  $R$  が 60～300 度の間にあるときは、「クランクとレバー」角度の関係曲線は理想的な式 (5) の角度関係  $ARCTAN(VR/\omega d)$  によく適合する。

図 4 の「クランクおよびレバー」曲線の端は、式 (5) の角度プロファイルもしくは関係に従わない部分である、クランク軸 108 周囲のクランクピン 110 回転の残りの 120 度の部分、即ち 0～60 度および 300～360 度の部分では、本発明のクランク駆動機構は足部 41 を素早くアーチ形経路 61 を通り（図 3 には示していないが、図 1 に示されている）直進経路 51 の始点に戻す。

20

#### 【0031】

図 3 に示した上記説明したこの種のクランク駆動機構 31 の使用は本発明による歩脚運動の成立にとって好適であるが、それはこの機構がクランク軸 108 周囲のクランクピン 110 の回転のかなりの部分について、足部 41 の一定直進運動に関し式 (5) の角度関係およびプロファイルに極めて近似できること、および上記の様に足部 41 が素早く出発点に戻れることによる。足部 41 をより広いクランクピン回転範囲について直進路 51 に残すことができることは直進路 51 がより長くなるという利点をもたらし、そして足部 41 をより長い時間、支持面 16（図 1）に踏みしめた状態にすることができ、言い換えれば少ない脚部でより大きな安定とおよび牽引が実現できる。さらにクランク軸 108 周囲のクランクピン 110 の回転のより狭い範囲で足部 41 が迅速に復帰することにより不安定性を軽減し、物体 10（図 1）の転倒の機会も減らすこともできる。上記の如く、これらパラメータおよび利点は、式 (6) の寸法比を与えることで最適化できる。しかしその他設計上の配慮または制約により最適比が別のものになることもあるが、これは本発明を逸脱するものではない。

30

#### 【0032】

上記の式 (6) の比、またはそれに近い比の寸法を持つクランク機構 31 で駆動する足部 41 は、図 3 に示すように直線路 51 を進む場合には、ほぼ一定の速度  $V$  で動くだろう。図 5 のグラフは、クランク機構 31 により駆動する足部 41 の正規化速度を例示しているが、ここでも直進運動域はクランク角度  $R$  が約 60 度～300 度である範囲である。さらに、前述の如く、本発明ではより小さな角度範囲で直進運動させることもできるが、かかるシステムは安定させるにためにより多くの脚部を必要とするだろう。図 5 に示すように、このような速度は殆ど一定であり一変動は平均値 1 で上下 7% 未満である。本発明の実施では、かかる速度の変動は平均値より 30% 未満の範囲であることが好ましく、より好ましくは 10～20%、最も好ましくは 10% 未満である。

40

#### 【0033】

クランク駆動機構 31 の一例は、上記の如く脚部レバー 100 上の点 D にある足部 41 を、経路 51 を実質的に一定である直進運動で動かすものであり、図 6 に例示している。

50

このクランク機構 31 では、クランクホイール 91 はクランク軸 108 の回りを回転するが、クランクホイール 91 の上、クランク軸 108 より半径距離 CA の位置に配置されたクランクピン 110 はクランク軸 108 の回りを回転する。脚部レバー 100 基端部 116 はクランクピン 110 に回転可能な形に取り付けられており、一方ピボット軸 102 のピボットピン 120 は脚部レバー 100 の溝孔 122 を貫通して伸びている。ピボットピン 120 と溝孔 122 が組合わさって脚部 100 がピボット軸 102 に対し横方向に動かないよう機能すると同時に、脚部レバー 100 がピボット軸 102 に対し縦方向には動けるようにしている。クランクピン 110 がクランク軸 108 の回りを回転する際の距離 AB の最大変化に対応できるよう、溝孔 122 は少なくとも半径距離 CA の 2 倍の長さでなければならない。したがって、クランクピン 110 がクランク軸 108 の回りを回転すると、レバー 100 はピボットピン 120 を軸として回転し、同時にピボットピン 120 に対し前後に摺動する。その結果、上記のように半径距離 CA と距離 CB の比を適当にとれば、クランクピン 110 はクランク軸 108 の回りを実質的な角度で回転している間、脚部レバー 100 は末端部 118 にある足部 41 を均一速度 V で直進経路 51 に沿って動かす。上記の様に、本発明はこの様なクランクピン 110 が小角度で回転する直進運動にも有効である。しかし、そのようなクランクピンの小角度の回転では、足部 41 を直進運動させる場合、物体 10 を安定して支えて推進するにはより多くの脚部 100 が必要とする。したがって足部 41 のこの様な直進運動を、クランク軸 108 周囲のクランクピン 110 回転を 90 度より大きくして、より好ましくは約 180 度より大きくし、最も好ましくは約 240 度より大きくして維持することが望ましい。次に脚部レバー 100 の長さを適切に選ぶこと、即ち適切な距離 AD (クランクピン 110 の軸から垂直方向に点 D の足部 41 までの距離) を選ぶことにより、足部 41 は図 7 に描くように直進路 51 を一定速度で動く。図 7 では、点 D の足部 41 を一定直進運動させるのに好ましい式 (6) の CA と CB の比を適当な長さ AD を用いて図示している。図示するために、クランク軸 108 の回りを回転したときにクランクピン 110 が通る循環クランク路 122 の上に一連の無作為点 A を選び出した。脚部レバー 100 の様々な位置および向きを表している放射状の線は点 A からが出て点 B にあるピボット軸 102 を通り、それぞれの線の点 D にある足部 41 位置まで伸びている。この場合も距離 AD は不変であり、したがっていずれの線も同じ長さである。図 7 に見られる様に、このクランク機構 31 は、適当な比および長さを有しており、クランクピン 110 が矢印 122 の角度方向に回転する時、点 D の足部 41 は矢印 124 の方向に直進路 51 を辿る。もちろんクランクピン 110 の回転が逆向きの場合には、足部 41 は逆方向に動く。

#### 【0034】

したがって、クランク機構 31 は 3 つの長さ：(1) クランク半径 CA；(2) クランク軸 108 からピボット軸 102 までの距離 CB；および(3) ピボットピン 110 から足部 41 までの脚部レバー 100 の長さ AD により特徴付けられる。CA に対する CB の比が狭い範囲の場合にのみ、上記の様な角関係、即ち足部 41 を一定速度にする式 (5) の各プロフィール  $Q = \text{ARCTAN}(VR/\omega d)$  が与えられる。換言すれば、本発明は広範な CB 対 CA 比で良好に機能するとはいえ、CB 対 CA 比の小さな変動でも理想に近い式 (5) の関係は低下、即ち理想的でないものにする。例えば、合理的に使用できる本発明による歩行装置、即ち大きなボビング、ウェービングおよび/またはサージングがない歩行装置は、CB/CA 比は約 1.5 ~ 2.6 の範囲内であり、また AD/CA 比は約 3 ~ 12 の範囲内である。しかし、足部 41 を一定速度にすることに限り式 (5) の理想関係に近づけようとした場合、CB/CA 比は狭い範囲内にとどめるべきであり、そして長さ AD は実際的に直線路 51 を得る上で調節可能な唯一のパラメータである。このような長さ AD の調節または設定は経験に基づいて簡単に行われるか、または好ましい場合には数値最適化の様に数学的に行われる。出来る限り直線運動および一定速度に近い最適な組み合わせを獲得するために、これらパラメータ 3 つの全てについてある程度妥協してもよい。数値最適化により得た最適足部経路プロフィール 51、61 の例を図 8 に示す。図 8 のプロフィール 51、61 内の各点はクランク軸 108 の回りをクランク

ピン 1 1 0 が 5 度進んだことを表している。直線路 5 1 に沿ってある等間隔の点は、望む一定（一定速度）直進（直線）運動が達成される範囲を示しており、曲線帰路 6 1 内にある点間の距離が一樣ではなく、そしてより長いことは、帰路 6 1 では足部 4 1 の非直線運動が大きく加速されてから減速したことを示している。

#### 【0035】

図 8 の点プロファイルの駆動に用いた数値最適化は、一定速度の完全な直進運動と実際に得た足部運動との間の誤差に基づいていた。誤差の関数を 240 度のクランク回転の希望範囲について積分した。本例では、用いた誤差関数は理想的な直進運動を実行できる足部の理想位置と実際の足部位置との差の平方であった。この積分の結果は、以下 2 つの比の変動に基づき最小化されている：（1）クランク軸 1 0 8 からピボット軸 1 0 2 までの距離 C B とクランク半径 C A との比、即ち  $|CB|$  対  $|CA|$ ；および（2）脚部レバー 1 0 0 の長さ A D とクランク半径 C A との比、即ち  $|AD|$  対  $|CA|$  である。本例で得た実際の比は  $|CB|/|CA| = 1.53708$  および  $|AD|/|CA| = 6.319105$  であった。これらの比は、用いた特定の誤差関数に対し好ましい比である。しかし、設計目標内の変動（誤差変動）によりこれらの比はごく僅か変化する。

10

20

40

50

#### 【0036】

点 D の足部 4 1 が描く、または辿る運動および結果生じる経路 5 1、6 1 は、クランク軸 1 0 8 に対し垂直である第一平面内にあり、距離 A D はクランク軸に対し垂直である線内にある。したがって、脚部レバー 1 0 0 から上方または下方に伸びる下脚部ストラット 2 1 を用いると、第一平面と平行である別の平面内に経路 5 1、6 1 を描くことができる。例えば図 9 に示すように脚部レバー 1 0 0 から下方に伸びる下脚部ストラット 2 1 が足部 4 1 を配置しており、したがって経路 5 1、6 1 は脚部レバー 1 0 0 より下方に位置し、しかし尚第一平面同様にクランク軸 1 0 8 に対しては垂直である第二平面 1 2 6 内にある。図 1 の物体例 1 0 内ではこの特徴を活かして足部 4 1、4 2、4 3、4 4、4 5、4 6 を本体 1 4 より下に配置して、本体 1 4 が支持面 1 6 の上になるよう保持している。上記の様に、ストライド路 5 1、即ちストライドストローク中の足部 4 1 もまたストライド平面内にあるが、この平面はピボット軸 1 0 2 と平行であり、そしてライン C B と第一面に対し垂直である。

#### 【0037】

実際の歩行推進システムを形作るには、足部 4 1 は図 1 に示すように物体 1 0 を推進するストライドストロークまたはパワーストローク 5 1 中は支持面 1 6 と接触していなければならない、そしてステップストロークまたはリターンストローク 6 1 の間は支持面 1 6 の上に持ち上げられなければならない。図 1 および 9 に示すクランク駆動機構 3 1 では、図 1 0 に示すように駆動機構 3 1 を傾けてクランク軸 1 0 8 を支持面 1 6 に対する垂線（垂直線）N に関し傾斜させることにより、足部 4 1 を上記様式で動かすことができる。足部 4 1 が描く、または辿る経路 5 1、6 1（図 9）はクランク軸 1 0 8 に対し垂直である平面 1 2 6 内にあることから、クランク軸 1 0 8 を支持面 1 6 の垂線 N に対し角度  $\alpha$  傾けると、足部経路 5 1、6 1 の平面 1 2 6 もまた支持面 1 6 に対し角度  $\alpha$  傾斜するだろう。したがって、クランク駆動機構を支持面 1 6 の上に適当な高さで配置して足部経路の直線部 5 1 を傾斜面 1 2 6 内に配置すれば、足部経路の残りのアーチ部 6 1 は足部経路直線部 5 1 の始点に復帰する前に、支持面 1 6 の上にある高さ 8 1 だけ持ち上げられる。したがって、上記の様に、支持面 1 6 に対しクランク駆動機構 3 1 を傾斜させることで、簡単ではあるが洗練された方法で足部 4 1 を、それが復帰またはステップストローク 6 1 にある間、支持面 1 6 から持ち上げることができる。以下詳しく説明するように、ステップストローク中に足部 4 1 を支持面 1 6 の上方に持ち上げる方法は他にもあり、したがって本発明はクランク駆動機構 3 1 を支持面 1 6 に対し傾斜させるこの一つの方法に限定されない。

#### 【0038】

角度  $\alpha$  の向きは、支持面 1 6 および足部 4 1 が経路 5 1、6 1 で動く平面 1 2 6 が、足部 4 1 の直進運動の直線経路 5 1 と同一ラインに沿って交差する方向である。図 1 0 に示すように、駆動機構 3 1 は支持面 1 6 から一定の間隔 b を空けない限り、0 と

ARCTAN (s / b) の間にある任意角度  $\alpha$  を用いることができるが、この場合の s は、図 10 に示す様に駆動機構 16 の最下点 39 の真下にある支持面 16 上の点 39' と足部 41 が支持面 16 に接触している点 87 との間の支持面 16 上の距離である。角度  $\alpha$  および間隙 b を実際に選ぶ場合には、駆動機構 31 の寸法を計測して、足部 41 が距離 s をあけて植設されるように垂直方向に伸びる脚部ストラット 21 の長さを選ばなければならない。しかし、角度  $\alpha$  が大きすぎる場合には、駆動機構 31 を小型化して、ストライドストローク 51 の長さ、およびステップストロークの高さ 81 を調節しなければならない。角度  $\alpha$  が小さすぎる場合にはストライドストローク 51 は大きくなるが、角度  $\alpha$  が小さいことで角度  $\alpha$  は浅くなるため、ステップストロークの高さ 81 を調節する。この 2 つの極端例の間に、ステップストロークの高さ 81 が最大となるのに最適な角度  $\alpha$  が幾つか存在する。この様な最適角度  $\alpha$  は、数値的または分析的に見つけ出すことができる。分析方法を用いると、以下のように適正角度  $\alpha$  を決定できる：

$$a = \text{ARCCOS} (J / K) \quad (7)$$

式中：

$$L = b / s \quad (8)$$

【数 1】

$$J = LK / \sqrt{L^2 + (1-K)^2} \quad (9)$$

【数 2】

$$K = 1 + L^2 - L \sqrt{1 + L^2} \quad (10)$$

【0039】

例えば、図 1 の物体 10 の様な 6 脚式のムシ型物体を考案する実施態様では、図 6 および 10 を参考に、次の比を設計パラメータとして使用できる：

$$b / |CA| = 4.0387 \quad (11)$$

および

$$s / |CA| = 9.4236 \quad (12)$$

本例では、最適なステップストローク高さ 81 を得るには、支持面 16 と足部経路 51、61 の平面 126 とが成す最適な二面角  $\alpha$  は約 33.4 でなければならない。この比較的浅い角度  $\alpha$  は、比較的大きなストライドストローク 51 も同時に可能にする。

【0040】

ストライドストローク 51 の直線性とストライドストローク 51 での足部 41 の定速度 V との調和を考え、そして更に上記の様に傾斜面 126 でのステップングを考慮した場合の、本実施態様の駆動機構 31 の性能を図 11 に示す。図 11 のこのグラフは、物体 10 例が傍らを移動するときに、平面 16 上の観察者に対し足部 41 がどのように観察されるか示したものである。理想的には、足部 41 は、図 1 の点 87 に相当する図 11 の 0、0 の位置にいる観察者の正面に置かれ、次に持ち上げられて支持面 16 から離れて図 1 に示す次の点 89 に植設される。理想的には、ストライドストロークまたはパワーストローク 51 の間、足部 41 は図 1 の参考点 87 (図 11 の 0、0) に植設されることである。しかし、本例での数値決定ではある近似を行っており、実際には足部 41 が支持面 16 と接触している間も、足部 41 は支持面 16 上の点 87 (0、0) に対し若干動いている。



図 11 のグラフ例に関するデータは、 $b = 0.375$  インチおよび  $s = 0.875$  インチに基づいている。最適高さ  $b$  および物体 10 全体の前進距離（1 脚部のみのストライドではない）は、クランクピン 110 の回転当たり約  $0.81$  インチである。上記の  $CB/CA = 1.53708$  および  $AD/CA = 6.319105$  の例では、直線からのずれはおよそ  $\pm 0.0013$  インチであり、速度  $V$  が不均一であることによるずれは  $\pm 0.0019$  であり、これは性能的には問題とならない。

#### 【0041】

より実際のムシの脚に近い外観といった美観上の理由から、図 1、9 および 10 に示した直線的な脚部ストラット伸長部 21 ではなく、図 13 の曲線的な脚部ストラット 21' の様な様々な形の脚部ストラットの使用が望まれることもある。足部 41 がクランクピン 110、ピボット軸 102 および摺動式脚部レバー 100 に対し同一位置に保持される限り、足部 41 をそのように配置するために脚部ストラットがどのような形または配置であっても、脚部ストラットの形状が足部 41 の動きまたは性能を変えることはない。言い換えれば、クランク軸 108 に対し垂直である平面に必要な距離  $AD$  が保たれている限りにおいて、図 12 の実施態様で説明した様に、脚部ストラット 21 の形状は問題ではない。

#### 【0042】

上記の如く、図 1 に示す 6 脚式物体 10 に関しては、安定を得るために、互いの位相を  $120$  度ずらして固定した各クランクホイール 91 を備えた右側の 3 つの駆動機構 31、33、35 を連動させることが望ましい。例えば図 13 の  $60$  度のクランク回転の順序で示すように、3 つある足部 41、43、45 のうちの少なくとも 2 つがいずれの瞬間に於いても遅れずに、ストライドストローク中の支持面 16 を踏みしめることが望まれる。左側の 3 つの駆動機構 32、34、36 もまた同一目的のために同様に連動する。必須ではないが、中央脚部ストラット 23、24 は、図 14 に示すように外観上の問題から、外側に向かい互い違いに配列することが望ましい。脚部レベル 100 が本体部 14 から外側に向かって傾斜角  $\alpha$  で伸びているため、中央脚部レバー 100 は前方および後方脚部レバーに比べより高い位置にある「膝」27 まで伸びており、そのため中央脚部ストラット 24 はより長くなければならない。しかし上記の原理により、本発明はこの変化を、例えば図 15 に示すように中央駆動機構 33、34 を前方および後方駆動機構 31、32、35、36 よりさらに横方向外側に配置することで調節できる。

#### 【0043】

また図 15 に示すように、右側駆動機構 31、33、35 は、アイドラーギア 131、133 によって連結するギア形クランクホイール 91、93、95 を提供することで、一つに連結することもできる。同様に左側駆動機構 32、34、36 もアイドラーギア 132、134 により一つに連結できる。この場合も、連結した右側駆動機構 31、33、35 は、連結した左側駆動機構 32、34、36 とは独立して運転されるため、独立して加速または減速することができ、より高い操舵性、回転性および運動性を得ることができる。

#### 【0044】

連結駆動機構 31、33、35 の実施例を図 16、17 および 18 に示すが、これらは図 1 の物体 10 の本体 14 内に組込むことができる。動力はギア減速組立体 142 を通してモーター 140 が作り出し、右中央クランク駆動ギア 93 に伝えられる。動力はアイドラーギア 131 により右前方駆動ギア 91 に、そしてアイドラーギア 133 により右後方駆動ギア 95 に伝えられる。駆動ギア 91、93、95 は中心をはずれた偏心クランクピン 110 により脚部レバー 100 と連結している。脚部レバー 100 は、胴体プレートまたはフレーム 144 とカバープレート 146 の間に挟まれている。このサンドイッチ構造がクランク軸 108 に対する垂直面での脚部レバー 100 の運動を平面運動に拘束しており、そして前記クランク軸は上記のように支持面 16 に対し傾斜している。左側駆動機構 32、34、36（図 17～18 では完全には示していない）は、右側駆動機構 31、33、35 と同一である。図 19～21 には、図 6 および 16 に最もよく見ることができ溝孔 121 と摺動式および回転式にはめ合い連結する 6 本のピボットピンを持つ胴体プレ

ートまたはフレーム 1 4 4 が単独で示されている。モーター 1 4 0 およびギア減速組立体は、図 2 2 ~ 2 4 の据付けブラケット 1 4 8 の上に最もよく示されている。

【 0 0 4 5 】

上記の如く、後方に配置されたクランク機構での位相関係の遅延または負であることが不安定という問題につながるため、可能であれば、後方に配置されたクランク機構の位相関係は前進または正であるように維持することが望ましい。望ましくない遅延した、または負の位相関係を説明するので、図 2 5 を参照されたい。不安定状態を招くことがある望ましくない、遅延した位相関係を説明する上で、幾つかの定義が役立つ。例えば、この説明の目的では、前方とは駆動機構が物体 1 0 の推進を実行している、または試みている方向を意味しており、後方とはかかる推進方向の反対である。したがって、この定義によれば、本体 1 4 が矢印 1 8 の方向に推進される場合、物体 1 0 の右側のクランク機構 3 1、3 3、3 5 のなかではクランク機構 3 1 が最も前方に位置すると考えられ、一方中央クランク機構 3 3 はクランク機構 3 1 に対しては後方に位置し、最後のクランク機構 3 5 は中央クランク機構 3 3 に対して後方に位置することになる。さらに、クランク機構 3 1、3 3、3 5 の位相関係は、それらが物体 1 0 を推進している際のクランク 9 1、9 3、9 5 の回転の角度方向に関係する。推進方向が矢印 1 8 で示すように前方である場合、クランク 9 1、9 3、9 5 の回転の角度方向は矢印 2 5 1、2 5 3、2 5 5 が示すように時計回りである。したがってこの文脈に於いて、前進または正の位相関係とは、角回転 2 5 1、2 5 3、2 5 5 の方向であり、遅延または負の位相関係とは、角回転方向 2 5 1、2 5 2、2 5 5 と逆方向である。この説明の目的に関しては、前進および正の位相関係という用語は互換的に用いられ、遅延および負の位相関係もまた互換的に用いられる。

10

20

【 0 0 4 6 】

逆に、駆動機構 3 1、3 3、3 5 が物体 1 0 を矢印 1 8 と反対の方向に推進する場合は、駆動機構 3 5 が最前方となり、それに駆動機構 3 3 が続き、さらに駆動機構 3 1 が続く。また物体 1 0 が矢印 1 8 と逆方向に推進される時は、クランク 9 1、9 3、9 5 は矢印 2 5 1、2 5 3、2 5 5 と逆の角方向に回転し、結果として前進および遅延位相関係も逆になるだろう。

これらと同一の定義が、物体 1 0 の左側の連結駆動機構 3 2、3 4、3 6 にもあてはまり、この場合物体を矢印 1 8 の方向に推進する場合には、クランク 9 2、9 4、9 6 は矢印 2 5 2、2 5 4、2 5 6 が示す様に反時計回りに回転し、逆向き、即ち矢印 1 8 と反対方向の場合には時計回りに回転する。

30

【 0 0 4 7 】

より詳細には、図 2 5 の実施態様に於いて、物体 1 0 の右側の前方のクランク 9 1 および駆動機構 3 1 は直後にある、即ち中央のクランク 9 3 および駆動機構 3 3 に対し 1 2 0 度進んでいる。同様に中央のクランク 9 3 および駆動機構 3 3 は、最後方のクランク 9 5 および駆動機構 3 5 に対し 1 2 0 度進んでいる。別の形で表現すると、物体 1 0 の右側最前方のクランク 9 1 は右側中央のクランク 9 3 に対し 1 2 0 度進み、右側最後方のクランク 9 5 は右中央のクランク 9 3 に対し 1 2 0 度遅れる。

【 0 0 4 8 】

同様に物体左側でも、左側最前方のクランク 9 2 は左中央のクランク 9 4 に対し 1 2 0 度進み、左側最後方のクランク 9 6 は左中央のクランク 9 4 に対し 1 2 0 度遅れる。

40

それぞれ後に続くクランクおよび駆動機構が更に 1 2 0 度遅延するという、望ましくない形で連続的に位相が後方に向かって遅延すると、脚部レバーの配置が不安定となり、図 2 5 にはその例が 2 つ描かれている。物体 1 0 右側については、右側連結クランク 9 1、9 3、9 5 で起こったこの連続遅延を、右側足部 4 1、4 3、4 5 の全てが支持面 1 6 上にあるが、互いが可能な限り接近している形で示されている。足部 4 1、4 3、4 5 がこの様に接近して配置すると、物体 1 0 は不安定になり、容易に転倒する。

【 0 0 4 9 】

左側足部 4 2、4 4、4 6 は上記の連続後方位相遅延から生ずる別の不安定状態の例を示している。具体的には、左前方足部 4 2 は地面または支持面 1 6 から持ち上げられてお

50

り、一方残り2つの左足部44、46は互いに接近した状態で装置10の重心C.G.の後方に於かれている。この場合も、クランク92、94、96のこの連続後方位相遅延の結果生ずる足部42、44、46のこの不安定な配置により、物体10は転倒し易くなり、そしてもし右側も植設された足部だけが重心C.G.の後方にあるという同じ状態であれば、物体10は重力だけで転倒するだろう。また、図25に描かれた不安定な配置例は、この配置から生ずる不安定な位置関係だけでなく、その問題も描き出している。

#### 【0050】

これらの、およびその他の不安定な配置を回避するために、図26に描かれた好ましい位相関係では、右側駆動機構31、33、35が連動して配置されており、そのため連続する各後方クランク33、35が最後方のクランク駆動機構に対し120度進んでいるクランク91、93、95を備えている。言い換えると、図26では右中央のクランク93は右前方クランク91に対し120度進んでおり、そして右後方クランク95は右中央クランク93に対し120度進んでいる。図26の物体10の左側でも同様に、左中央クランク94は左最前方クランク92に対し120度進んでおり、また左最後方クランク96は左中央クランク94に対し120度進んでいる。

10

#### 【0051】

図26に描かれる様な、後方に向かってクランクの位相が連続的に前進する関係では、図25に示した後方に向かって連続的にクランクの位相が遅れることによる脚部および足部位置の不安定化を回避する。例えば、図25および26の左側前方足部42が伸びて支持面16から上に持ち上がった場合でも、図26の残り2本の左足部44、46は一方が重心C.G.の前に、そしてもう一方が重心C.G.の後方に、距離をおいて支持面16上に植設されて安定性を高めるが、このことは図25で左足部44、46が共に重心C.G.の後方に近接して置かれたこととは対照的である。図26の右側例は、図26のクランクの連続的に後方に位相が進む関係では、前方足部41および後方足部45が最も互いに接近しても、図25の連続的に後方に位相が遅延する関係で見られた足部41、45の例ほど近づかないことを示している。

20

#### 【0052】

上記の如く、クランクホイールまたはギア回転の多くの部分(2/3程度)が割かれるストライドストロークの間、足部が支持面16に踏みしめた状態を保つ能力によって、4脚のみの装置の中でも本発明のクランク脚部駆動機構を使用でき、そして安定性が維持されるようにできる。この様な4脚式ムシ型装置150の例を図27に示す。4本の脚部151、152、153、154は前後の間隔を狭めて順番に並べるか、または位相を等しくして、4本ある脚部151、152、153、154のうち少なくとも3本がいずれの瞬間も遅れずにストライドストロークにあって、常に支持面と接触している。ある1本の脚部が上記のようにして持ち上げた状態のステップストロークに戻っている間は、ストライドストローク中の残り3本の脚部が三脚の形を作り、これが物体150の重心を支持し、安定にする。この様な4脚式の物体150は、自由走行、未制御装置、壁が案内する装置等の、回転または操舵能力を持たない直線運動が望ましいか、または直線運動が望ましい用途やその他同様の用途に好適である。

30

#### 【0053】

この様な4脚式物体150の好ましい脚部の位相合わせを図28に示すが、脚部位相の順番1~4は、90度、位相を増加させた駆動ギアの全回転を示している。極細線は、上記6脚式物体10と同様に、脚部151、152、153、154の末端部にある足部のストライド158およびステップ159経路を表している。

40

#### 【0054】

旋回式クロスアクスル157で連結した2本の偽脚155、156を更に備えている改良型の4脚式装置160を図29~33に示す。この実施態様160は、迅速かつスムーズに前方に直進でき、適当に平坦な支持面上で転倒しないで逆方向に向きを変えることができる。装置160が前進する場合は、2本ある偽脚155、156は軽く引きずられるが、4本ある脚部151、152、153、154の通常のストライド158およびステ

50

ッピング159のストロークを妨害しない。しかし4本の脚部151、152、153、154を逆向きに動かす場合は、左側の偽脚156より長く、また正規の脚部151、152、153、154より長い右側の偽脚155が支持面を踏みしめ、装置160の右側を十分に持ち上げ、右脚部151、153を支持面から持ち上げる。そのことで、脚部が踏みしめている表面に対するピボット点となって、装置160の向きを変える。

#### 【0055】

図30に最もよく見られる様に、2本の偽脚155、156はアクスル157でつながれており、アクスルは装置160を横断して、即ち縦軸161の方向の前進運動に垂直に伸びている。2本の偽脚155、156はアクスル157にしっかり結合しており、アクスルは矢印163で示す回転運動ができるように本体162と回転可能な形で取り付けられている。したがって、偽脚155、156は共に互いに同調して回転する。

10

#### 【0056】

偽脚155、156の一方、例えば右偽脚155は正規の脚部151、152、153、154の長さよりも若干長く、左偽脚156は脚部151、152、153、154の正規の脚部よりも若干短いか、またはほぼ同じである。図31に描かれている様に、前進運動164中右偽脚は支持面16を後方に引きずられる。右偽脚155が後方に引きずられ始めると、アクスル157が回転して短い左偽脚156を支持面16の上に僅かに持ち上げる。この状態においては、装置160は支持面16の上に右偽脚155を僅かに、一般に意味のないほど引きずる以外は、正常に前進運動164する。

#### 【0057】

しかし装置160の運動をクランク駆動機構（図32には示していない）の回転方向を逆転して逆向き165すると、右偽脚155は支持面16と摩擦力によりひっかかり、図32に示すように本体162を動かす逆向き165に対して回転する。右偽脚155が他の脚部151、152、153、154よりも若干長いために、右偽脚は装置160の右側を持ち上げ、それにより図32に示す様に右前方脚151および／または右後方脚153は持ち上げられて支持面から離れる。アクスル157に結合するある種の制限装置166を取り付けて、逆方向165の引きずりが殆ど起こらないように右偽脚の回転を阻止することができる。もはや右脚部151、153は支持面16を踏みしめていないため、右偽脚155が装置160を回転させるピボット点となる。これと同時に左脚部156は、図33に示す様にアクスル157によって回転し、他の左脚部152、154がそれぞれストライドそしてステップする時に、高さ、バランスおよび安定性を維持する位置になる。

20

30

#### 【0058】

図34では8脚型の歩行物体260を示し、4脚連結のステッピングの順序の例における本発明のクランク駆動機構の応用例を描いている。ここに記載または包含されるクランク駆動機構はいずれもが利用可能であるが、図34の例は図1～10に示し既に説明されている様式で組み立てられたクランク駆動機構261、262、263、264、265、266、267、268を用いて描かれている。

#### 【0059】

図8では、物体例260は、物体260の両側にそれぞれ1セット、合計2セットの脚部を有している。例えば物体260右側にある4本の脚部281、283、285、287は、それぞれのクランク駆動機構261、263、265、267によって駆動し、これら駆動装置ではアイドラーギア301、303、305がそれぞれクランクギア271、273、275、277を駆動し、また一つに連結している。同様に、物体260左側のもう1セットの4本の脚部282、284、286、288はそれぞれクランク駆動機構262、264、266、268が駆動しており、これら駆動装置ではアイドラーギア302、304、306がそれぞれクランクギア272、274、276、278を駆動し、そして一つに連結している。4本の脚部の各セットは、バランスおよび安定性が保たれる形で一つに連結され、並べられている。物体260はここに記すステッピングの順序については、物体10に関する上記説明と同様に（図1、参照）、これら各脚部のセットを相互に独立して運転するのに必要な組操縦能力を持っていると考えられる。

40

50

## 【0060】

便宜上および図34の4脚連結についての本説明を容易にするために、物体260両側にある脚部には前方から後方に向かって1、2、3、4と番号を付けた。即ち右側の脚部281、283、285、287の連結セット（右側脚部）については、脚部281は1とし、脚部283は2とし、脚部285は3とし、そして脚部287は4とする。同様に左側の脚部282、284、286、288の連結セットについては（左側脚部）、脚部282は1とし、脚部284は2とし、脚部286は3とし、そして脚部288は4とする。

## 【0061】

また便宜上、各脚部のステッピングの順番は一定間隔で行われ、例えば脚部の新たなステップは、右側クランクギア271、273、275、277がそれぞれ90度回転して起こる。同様に左側脚部282、284、286、288については、これら脚部の新たなステップは、左側クランクギア272、274、276、278がそれぞれ90度回転して起こる。

## 【0062】

これら2点を描写するために、例えば図34の左側脚部282、284、286、288が示す特定のステッピングの順番を「4-2-3-1」の様に示すことができる。言い換えると、まず脚番号4（後脚288）がステップを開始する。次にクランクギア272、274、276、278が1/4回転、即ち90度回転した後、脚番号2（前方に近い脚部284）がステップを開始する。次にクランクギア272、274、276、278がさらに1/4回転した後、脚番号3（後方に近い脚部286）がステップを開始する。次にクランクギア272、274、276、278がさらに1/4回転してから、脚番号1（前方脚部282）がステップを開始する。クランクギアがさらに1/4回転した後、この順番が再び始まる。

## 【0063】

2本またはそれ以上の脚部と一緒にステップするステッピングの順番には6種類のものが考えられる：

- 1-2-3-4
- 1-2-4-3
- 1-3-2-4
- 1-3-4-2
- 1-4-3-2
- 1-4-2-3

これらの各順番について、一方の側にある脚部281、283、285、287および反対側の脚部282、284、286、288は本体300に沿って、右側連結機構内の足部291、293、295、297または左側連結機構内の足部292、294、296、298が互いに接触しないように、可能な限り近づけて配置されることが望ましい。また安定性のために重心C.G.周囲のバランスを保つ必要もある。

## 【0064】

しかし、本体300の端に沿う脚部の間隔を接近させる必要がある場合、隣接する脚部が接触する問題を避ける2つの脚順が考えられる。即ち：

- 1-2-3-4
- 1-3-4-2

である。言い換えると、これら各順番では、2本の隣接する脚部の一方が完全に後ろ向きの時には、もう一方が全面的に前向きになることはなく、これにより隣接する2足部間が接触するのを防ぐ。この2つの順番のうち、順番1-3-4-2の方がバランスに優れているが、それはいずれの瞬間に於いても重心C.G.をまたぐ足部間の距離が順番1-2-3-4の場合より広いからである。

## 【0065】

バランスのみを考えるのであれば、即ち隣接する足部または脚部間の接触を避けるため

に脚部の間隔を十分広くとることができるのであれば、のこり4つの脚順は：

1 - 2 - 4 - 3  
1 - 3 - 2 - 4  
1 - 4 - 3 - 2  
1 - 4 - 2 - 3

である。これら4つの脚順のなかでは、1 - 4 - 3 - 2の順番が最もバランスに優れている。

#### 【0066】

連結している4脚のうちの2脚またはそれ以上を同時に歩行させるようにクランクの位相を設定することも可能である。もちろん連結する4脚の中の3脚のバランスを崩すことなく同時に歩行させるように設定または位相合わせすることは、植設している足部が1本だけになるため不可能である。したがって、正確に2脚が同時歩行する順番、即ち：

(1, 2) - (3, 4)  
(1, 3) - (2, 4)  
(1, 4) - (3, 2)

のみ考慮することが合理的である。これら3つの脚順に於いてはバランス問題から、「X」型の順番は排除されるため、次の順番が残る：

(1, 3) - (2, 4)  
(1, 4) - (3, 2)

これら2つの脚順のうち、最もバランスが良いのは(1, 3) - (2, 4)である。

#### 【0067】

まとめると、それぞれ異なる設計目標について最も望ましいステッピングの順番が3種類ある。滑らかな運動および最小の脚間距離を望む場合には、順番1 - 2 - 3 - 4が最適である。滑らかな動き、バランスならびに脚部の間隔の良好な組合せを目的とする場合は、順番1 - 3 - 4 - 2を使用するとよい。良好な滑らかさ最善のバランスを求める場合は、順番1 - 4 - 3 - 2を使用するとよいだろう。順番(1, 3) - (2, 4)は、振動が問題とならず、タンデム歩行が望まれる場合に使用するとよい。

#### 【0068】

上記のように、当業者は、ひとたび本発明の原理を理解すれば、本発明の実施に適したクランクおよびレバー駆動機構の多くの好適な機構の変形および実施態様を考案できる。上記記載の分析が不十分な傾斜クランク駆動の実施態様の重要な特徴は、クランク、ピボットおよび前記クランクに結合し、且つ脚部レバーのピボットに対する縦方向の運動は可能であるが、横方向には動かないように制限されている脚部レバーであり、これにより上記説明した様に、脚部レバーはピボットの回りを回転できると同時にピボットに対し縦方向に動くことができる。この種の変形または別実施態様の一つであるクランク駆動機構または組立体31'を図35に示す。この変形例または実施態様31'は、脚部レバー100と脚部ストラット21を含む形に曲げられるか、または成形された1本のロッドまたはワイヤ170を有しており、これは容易に製造できる、そして確実に動かすことができる。クランクホイールまたはギア91は底フレームプレート144から上向きに伸びるスピンドルまたはアクスル176の上に回転式に取り付けられている。細長のロッド170を曲げて、基端部にクランクピン部110を作るが、この部分がクランクギア91の周縁近くにあるクランク孔172に差し込まれる。ロッド170の脚部レバー部100はクランクピン部110から旋回支持構造180の横孔または溝186を通り膝ベンド部188まで伸び、ここでロッド170は曲げられて脚部ストラット21となり末端部にある足部41まで伸びる。クランク駆動機構31'は前記同様傾けられており、その結果クランク軸108は支持面16の垂線Nに対し角度 $\alpha$ を持つ。それ故に、クランクギア91がアクスル176に乗りクランク軸108の回りを回転すると、クランクギア91は脚部レバー100を上記の如く、極細線100''で示すようにピボット軸102に対し縦方向に旋回して動かし、脚部ストラット21および足部41を本発明のストライドおよびステップストロークの直進路およびアーチ形路に運動させる（例えば図7および8を参照）。重い物体

10

20

30

40

50

の場合、各脚部ストラット 21 およびレバー 100 はかなりの重量を支えなければならず、旋回支持構造体 180 は、図 35 に示す様に、その頂端部 182 およびその底端部 184 がそれぞれ上部フレームプレート 146 および底フレームプレート 144 の陥凹孔 181 および 183 に回転可能な形で取り付けられる、実質的ピボットピンの形を取り、その結果支持構造体 180 がピボット軸 102 の回りを回転できることが好ましい。旋回支持構造体 180 の横孔または溝 186 は、脚部レバー 100 が前記孔または溝 186 の中の縦方向に前後摺動するときに、脚部レバー 100 上の物体の重量を支えるベアリング面を提供し、支持構造体 180 が陥凹取付け孔 181、183 の中で回転でき、脚部レバーがクランクギア 91 で駆動される時にピボット軸 102 の回りを脚部レバー 100 が旋回できるようにしている。

10

## 【0069】

支持構造体 180 から外側に離れている、支持面 16 上の点 87 の足部 41 が支える物体の重量は、ロッド 170 のクランクピン部分 110 をクランク孔 172 に押し込み、そこに保持するような支持構造体 180 の回りを、垂直面内で細長ロッド 170 が回転しようとする偶力を作り出し、クランクピン部 170 にカラー 174 を取り付け、脚部レバー 100 をクランクギア 91 上面から離すこともできる。この役割は、クランクギア 91 を貫通していないクランク孔 172 でも果たすことができる。したがってクランクピン部 110 が該クランク孔 172 の底に当たる。この場合も、これら組立体を作製し、本発明の上記基本構造および機能を提供する方法は数多くある。

20

## 【0070】

小型の物体で軽量なものについては、支持構造体 180 をより薄い固定壁またはストラット等のより単純なものにして、支持構造体 180 全体をピボット軸 102 の回りに回転させることなく脚部レバー 100 を孔 186 の中を滑らせ、旋回することもできる。この様な固定壁またはストラットの孔 186 の変形としては、ロッド 170 の直径よりも若干大きくなければならず、そして孔 186 の縦軸に対しロッドの角度が大きい場合には、孔 186 を若干長めにして（未表示）結合を防いでも良い。ロッド 170 とかかる固定支持構造体 180 が共に金属の場合は、この組み合わせにより支持面上にある電気板（未表示）からの電流はロッド 170 の脚部ストラット 21 およびレバー 100 部分を通し、ピボット孔 186 内のロッド 170 と支持構造体 180 の金属-金属接触部を経て、支持構造体 180 を通り電気モーター（図 35 には未表示）に伝わる。

30

## 【0071】

この場合もクランクギア 91 は様々な方法で駆動できる。例えば、電気モーター（図 35 では未表示）を、上記のようにクランクギア 91 の外周に取り付けられたギアの歯 145 と嵌合する、ギア減速組立体 142（図 16～18）に取り付けられたピニオンギア 143（図 16～18 および 36 参照）と共に上部フレームプレート 146 の上に取り付けることができる。また、前述の様に複数のクランク機構を、複数の隣接するクランクギアの歯と嵌合するアイドルギアを使って一つに連結して駆動することもできる。

## 【0072】

図 37 に示す別の駆動機構 190 は、前記のように図 6、10 および 35 に示した別のクランク駆動実施態様に関する記述と同様に、脚部レバー 100 が縦方向に旋回運動できる形でピボットピン 120 が溝孔 121 内に納まる範囲で横方向、外側に向かって伸びている修正脚部レバー 100' を有している。さらに脚部 100 は、図 6、10 および 35 に示した様に膝部 188 まで、または脚部ストラット 21 まで横方向に真っ直ぐ伸びる代わりに、細長の脚部レバー伸長部 100' は脚部レバー 100 の基端部 116 から下方に向かって、脚部レバー 100 より低い位置を横方向、外側に膝部 188 に伸び、脚部ストラット 21 となって脚部ストラット 21 の末端にある足部 41 につながる。この変形または実施態様 190 は特に脚部が物体の横方向部ではなく腹側から伸びるカブトムシ型装置のクランクおよびレバー機構として有用であり、故に以下この機構を「腹底部型」脚部実施態様とよぶことがある。

40

## 【0073】

50

この腹底部型脚部実施態様 190 では、クランクギア 91 は、上部フレームプレート 146 から下に向かって突き出て、そしてクランク軸 108 を画定しているスピンドルまたはクランクアクスル 176 に回転可能に取り付けられている。脚部レバー 100 はクランクギア 91 と底フレームプレート 144 の間に摺動可能に挟まれており、そして脚部レバー 100 の基端部 116 近くの脚部レバー 100 より上向きに突き出てクランクギア 91 のクランクピンホール 172 に入るクランクピン 110 を持っている。したがってクランクギアがクランク軸 108 の回りを回転すると、クランクギアが脚部レバー 100 を、底プレート 144 から上向きに突き出て脚部レバー 100 の溝孔 121 を通っているピボットピン 120 に対し横方向に旋回するように動かす。

#### 【0074】

図 37 に示すように、脚部取付けシャフト 193 は脚部レバー 100 から下向きに伸びて底プレート 144 の大型孔 192 を通る。脚部レバー伸長部 100' は、シャフト 193 に回転も動くこともできない形でしっかりと取り付けられ、そして例えばネジおよび/またはセルフタッピングネジ 195 のような固定具を使ってそこに固定されているソケット 194 から横方向に向かって伸びている。絶対的ではないが、脚部レバー伸長部 100' および脚部ストラット 21 は十分に横方向、外側に伸びて適当な間隔 D を提供して、上述したような一定直進ストライドストロークとアーチ形の素早い復帰ステップストロークを作り出すことが望ましい。ソケット 194 の内部形状に結合もしくは嵌合するように、シャフト 193 に溝をつけるか、または例えば六角形またはその他多角形の外周を持つ形状にすることができ、ソケット 194 および脚部レバー伸長部 100' が脚部レバー 100 に対し不要に回転するのを防ぐことができる。前記の他実施態様で説明した様に、クランクギア 91 はピニオンギア（図 37 には表示されていない）および電気モーター（図 37 には表示されていない）もしくはその他駆動機構により動かすことができる。

#### 【0075】

上記のクランクおよびレバー駆動システムは全て、クランク駆動システムを支持面 16 に対し傾斜させることによって足部経路のステップストローク 61 時に足部 41 を支持面 16 から持ち上げるが、図 38 および 39 に示す本発明の別の実施態様では、別の方法で足部を持ち上げる。この別の実施態様 200 では、第一クランク 201 および旋回式の脚部レバー 203 を用いて式 (5) が求める角度プロファイルを実現して、ストライドストローク中の速度を一定にする。受動ストラット 202 を用いて足部 41 に平坦運動を続けさせる一方で、第二クランク 204 を用いて足部 41 の動きをストライドストローク 51 中は直進方向に拘束し、そしてステップストローク 61 の間は必要な足部 41 の持ち上げを提供する。

#### 【0076】

図 38 は、図 39 に図示される上記別実施態様の歩行構造体および制御部を備えた物体 200 の概略図である。本実施態様を描写する際の参考として、右回りの座標系 206 を示している。図 38 および 39 では、物体 200 に望まれる前進運動方向が Y 軸方向であるとすると、図 39 では、Y 軸方向は紙面に対し垂直な方向、紙面に向かう方向である。

#### 【0077】

図 39 および 40 に最もよく見られる様に、大腿部 20 を含む脚部レバー 203 は、本体 208（図 38）に対し固定位置にあるピボット軸 207 の回りを旋回して式 (5) の望ましい角度プロファイルを作り出す。しかし本実施態様では、脚部レバー 203 はピボット軸 207 に対し縦方向に前後して摺動することはない。その代わりに、脚部レバー 203 はピボットピン 212 に替わってクランクピン 210 を受ける溝孔 209 を持つ。したがって、第一クランク 201 がクランク軸 213 の回りを矢印 211 の方向（またはその反対方向）に回転すると、クランクピン 210 が脚部レバー 203 およびその大腿部 205 を動かし、矢印 214 が示す様に、式 (5) の角度プロファイル通りにピボット軸 207 の回りを前後に旋回させる。この場合も、クランク 201 は図 40 の中では、例えばピニオン 215 により駆動するギアとして描かれているが、それはホイール、プーリー、レバーまたはその他回転可能な装置であればよく、そして機械工学分野の当業者にとって

10

20

30

40

50



自明である様々な方法で駆動することができる。

【0078】

脚部レバー203の旋回運動214のピボット軸207は、座標系206のZ軸に対し垂直または平行でなければならず、したがってピボット軸207を回る脚部レバー203の旋回運動214は必ずX-Y平面にある。しかし脚部レバー203の大腿部205の基端部218は、図40に示す様にヒンジピン等を用いて、脚部レバー203のベース部217に旋回可能な形で結合しており、したがって大腿部205の末端部219もまた、図39で矢印223が示す様に、水平方向のピボット軸221の回りをZ方向に上下して動くか、または旋回することができる。もちろん、例えばボールジョイント、ユニバーサルジョイント等の様に、大腿部205の末端部219をZ方向に垂直にだけでなく、X-Y平面上で前後に動かすか、または旋回させることができる当業者周知のその他旋回式結合部が多数ある。

10

【0079】

大腿部の末端部219にある膝結合部220およびふくらはぎ部または下脚部ストラット21の基端部222もまた、図39に最もよく見られるように旋回式またはヒンジ式に結合されている。膝結合部220は、下脚部ストラット21の膝部220および基端部222と足部41がピボット軸207および大腿部205の基端部および末端部218、219が存在する平面内にくるように配置する。(もし大腿部205および下脚部ストラット21が直線であれば、それらは同一平面内に存在する) 言い換えると、上から見た場合、ピボットピン212、ヒンジ220および足部41は共線的、即ち全てのものが同一直線上にあり、そしてクランク201が回転するとかかる直線はピボット軸207の回りを旋回する。また、かかる直線は一定速度で足部41を動かすための式(5)の角度プロフィール獲得の基礎である。

20

【0080】

足部41を直進運動させるために、ストライドストロークの間、第一クランク201が脚部レバー203、大腿部205、膝部220、下脚部ストラット21および足部41を式(5)の角度プロフィールに従い揺動する一方で、受動ストラット202は足部41を平面 $X=0$ 内に保つように下脚部ストラット21を拘束し、能動ストラット224が下脚部ストラット21を拘束して足部41を平面 $Z=0$ 内に保持する。したがって、受動ストラット202によって足部41を平面 $X=0$ に、そして能動ストラット224により平面 $Z=0$ 内に保持されると、その結果足部41は平面 $X=0$ と平面 $Z=0$ が交差(図38)する直進(即ち直線)路51内だけを動くように拘束される。その結果、受動ストラット202および能動ストラット224が拘束する形に、第一クランク201が引き起こす運動のこの組み合わせにより、本発明のストライドストロークに適した、直線路51に沿った足部41の望ましい一定直進運動が生まれる。直進ストライドストローク路51の終点では、能動ストラット224も用いて足部41を平面 $Z=0$ の上に持ち上げてステップストローク61に備え、次に足部41を加速して素早く次のストライドストローク51の始点に戻す。

30

【0081】

ステップストローク61中に足部41を $X=0$ (垂直)面にとどめる必要がない場合でも、そうすることは幾つかの応用にとって有利である。例えば足部41を $X=0$ (垂直)面に維持すれば、地面またはその他支持面に対する物体208の垂直運動を、不要な拘束なしにいくらか調節する幾つかの形態の屈曲性サスペンション(未表示)の実現が見込める。

40

【0082】

図39に示す様に、受動ストラット202は、受動ストラットが垂直軸228および水平軸229の両方の回りを旋回して、大腿部205と能動ストラット224によって生み出される下脚部ストラット21の運動を調節する旋回型結合部226によって本体208または物体200のその他フレーム構造体に固定されている。しかし旋回型結合部226は、受動ストラット202基端部231の、本体208に対する横(X方向)、縦(Y方

50

向) または垂直 (Z 方向) いずれの運動も許さない。受動ストラット 202 の末端部 232 は膝部 220 の下方で下脚部ストラット 21 と旋回可能な形で、好ましくはボールジョイントもしくは X および Z 方向 2 本の直交軸の回りを旋回運動できるその他結合部 233 により結合している 233。したがって、受動ストラット 202 は下脚部ストラット 21 のある特定の動きだけを阻止するか、または許可する。これは下脚部ストラット 21 にいかなる運動も起こさない。一方能動ストラット 224 は第二クランク 204 により動かされ、下脚部ストラット 21 に特定の動き、即ち足部 41 の平面運動を起こす。最適な解決策の選定には、結果の得やすさや意図する応用への適合性を含む様々な要素が考えられる。例えば、単純な連結方法を用いる場合には、本体 208 への旋回型結合部 226 の取り付けにはある範囲に限定され、結合部 226 のかかる取り付けが可能な他の場所は他の構成要素に接触するかもしれない。

#### 【0083】

本発明を例示するために、受動ストラット 202 の結合部 226 および 233 の配置が、クランクおよびレバー機構といった他の構成部分にこの様に接触しないようにする本発明の一例をここに示す。この具体的なデザイン例のパラメータは、X、Y、Z 座標系 206 に関連付けて考えるが、この場合座標 (0, 0, 0) を任意に、大腿部 205 が脚部レバー 203 に旋回可能に結合している場所 212、216 とする。したがってこの座標設定では、足部 41 に望ましい垂直面は図 35 に示したような  $X=0$  ではなく、若干 X 値からずれている。この例では、足部拘束に望ましい垂直面は  $X=5$ 、即ち足部に好適な垂直面は旋回結合部 212、216 から横に 5 インチずれている。本例に適したパラメータ (

#### 【表 1】

表 1

	X	Y	Z
運動面	5		
216 の座標	0	0	0
220 の座標	5	0	2
226 の座標	-0.9467	0	-1
233 の座標	5	0	1
41 の座標	5	0	-5.5

図 39 の構成に適したパラメータのこのセットでは、足部 41 に望ましい運動範囲は  $-3.3 < Y < 3.3$ 、 $-5.5 < Z < -3.9$  および  $X=5$  である。足部 41 の運動の平面  $X=5$  からの誤差は垂直方向の足部運動 1 インチに対し 0.030 インチ未満であり、運動全範囲に対して 0.2 インチ未満である。

#### 【0084】

上記の様に、足部 41 は式 (5) の角度プロフィール ( $X-Y$  (即ち水平) 面上に投影された) に従って動く。この角度運動プロフィールでは、上記の様に、クランク 201 サイクルまたは回転の中のストライドストローク 51 部では、足部 41 が定められた通りに一定速度であることを見込んでおり、そしてステップストローク 61 に加速して迅速に戻ることを含む。ストライドストローク 51 では、能動ストラット 84 は足部 41 を一定 Z 値、例えば図 38 では  $Z=0$  に維持しなければならない、これにより足部 41 は支持面上に植設された状態と本体 208 に対して直線 51 上を動く状態を続ける。ステップストローク 61 では、能動ストラット 224 (リフティングストラットとも呼ぶ) は足部 41 を支持面 16 の上に持ち上げて (図 39) 引きずらないようにしなければならない。

#### 【0085】

能動ストラット 224 は第二クランク 204 により作動または駆動して上記機能を実行するが、該第二クランクは、図 39 に最もよく見ることが出来るように、クランク軸 21

3と同一であるZ方向（即ち水平X-Y支持面に対し垂直）と平行な軸の回りを回転する。第二クランク204は大腿部205が実行する角度プロフィール（X-Y平面上に投影された）と同期しなければならない、該大腿部は上記のように第一クランクが駆動する。したがって第二クランク204は第一クランク201の真上に配置することができ、第一クランク201と第二クランク204の両方と結合する垂直シャフト230を使って駆動し、クランク軸213の回りを回転することができる。能動ストラット224は旋回式結合部235によって、垂直面および水平面の両方で能動ストラット224が旋回運動できる形で、基端部236で第二クランクピン238と結合している。さらに能動ストラットはその末端部237に於いて、大腿部205および脚部ストラット21両方に対し、水平軸および垂直軸両方の回りの回転運動を可能にするボールジョイント等の旋回式結合部によって、膝部220に旋回可能に結合している。

10

#### 【0086】

経験的には、第二クランク204は、図41に示すように動く。この図は、サイクルの4連続点、即ちクランク224の回転の4連続点にある、第二クランク204、能動ストラット224、大腿部205および膝部220の平面図である。スライドストローク（1）および（2）の間、膝部は通常第二クランク224と同一方向に回転するが、これは足部41を一定のZ値に保つのに必要な運動、即ち支持面にある足部41を持ち上げない運動である。しかし、ステップストローク61開始時では、大腿部205は前方に動き始めるが、一方第二クランク204は旋回式クランク結合部335を循環路で回転させ続ける。この位相またはサイクル部分では、膝部220およびクランク結合部335は通常相互に反対方向に動くが、これが膝部280および下部脚部ストラット21を比較的唐突に持ち上げて、ステップストローク61へ入る足部41を持ち上げる。図41のステップストローク（4）の midpoint 近くでクランク結合部235は旋回式結合部212、216のピボット軸207から最も遠くなり、足部41をその最高点まで持ち上げる。

20

#### 【0087】

ひとたびこの全体像が決定されると、数値最適化を行って設計を仕上げることができる。第二クランク軸213位置および半径は数値決定され、運動面をそのままにするために、初期に決定された他の脚部パラメータの決定とは柔軟に結びつくものである。

#### 【0088】

以下のパラメータは、上記記載の適切に位置決めされ、最適な半径を持つ第二クランク204を用いて、歩行における直線運動に最適なものとして数値決定した：

30

#### 【表2】

表2

	X	Y	Z
運動面	5		
216の座標	0	0	0
220の座標	5	0	2
226の座標	-0.9466	0	-1
233の座標	5	0	1
41の座標	5	0	1
クランク軸	-2.729	0	-5.5

40

第二クランク半径0.33。

#### 【0089】

足部41は受動ストラット202によってある平面、例えば図38では平面X=0に拘束されていること、そして上記の様に膝部220によって足部は常に旋回式結合部212、216と同一直線上に並ぶこと、そして更に摺動脚部レバー203および大腿部205の角度プロフィールが式（5）の角度プロフィールに近似することから、第一クランク20

50

1 が回転の大きな部分を動く間、足部 4 1 が一定直進運動 5 1 で動くことは明らかである。このようにした足部 4 1 の、本体 2 0 8 に対する平面  $X = 0$  での運動を図 4 2 に示す。図 4 2 のグラフに示される様に、足部運動サイクルのストライドストローク 5 1 中、足部 4 1 の動きは極めて直線に近く、そしてストライドストローク 5 1 中のチェックマークの間隔が均一であることから、足部 4 1 の動きがほぼ一定速度であることが分かる。次に足部 4 1 は上方向に進むと、ステップストローク 6 1 のチェックマークの間隔は開いて不均一となるが、このことは足部 4 1 が迅速に戻るためにステップストローク 6 1 に加速して入り、続いて次のストライドストローク 5 1 の始点に減速しながら戻ることを表している。

#### 【0090】

地面または支持面上の固定点から眺めると、足部 4 1 は図 4 3 に示す軌跡を描く。このプロフィールは理想に近いものであり、足部 4 1 はほぼ垂直な形で上下して障害物を容易にまたぎ、そうでない時に起こることがある足部引きずりによる停滞を防ぐ。また図 4 3 に示すように、ストライドストローク中、足部 4 1 はほぼ完全な形で植設され続け、例えば図 4 3 ではゼロの位置に在り続ける。

10

#### 【0091】

上記図 3 8 ~ 4 0 のクランクおよびレバー駆動装置の変形を図 4 4 に示す。この変形は図 3 9 の 2 1 2、2 1 6 および 2 2 0 にあった複雑な旋回式結合部を必要としない。図 4 4 に示す様に、脚部レバー 2 0 3 と大腿部 2 0 5 が旋回結合 2 4 0 をされる点は、基点ではなく、ピボット軸 2 0 7 のピボット基点 2 1 2 から横に距離 2 3 9 離れており、その結果点を実際に Z 軸（垂直）と平行であり、基点を通る軸 2 0 7 の回りを、X-Y 平面でアーチ形路を描く、即ち旋回する。大腿部 2 0 5 は結合点 2 4 0 の回りを、2 4 0、2 4 1、2 1 2 の 3 点が Z 軸を含む面を画定するように旋回する。この配置では各結合で調節が必要な回転軸が 1 本であることから、結合部 2 4 0 および 2 1 2 での結合は、前記実施態様での複雑な結合 2 1 2、2 1 6 に比べて単純である。同様に、前記実施態様の複雑な膝部結合 2 2 0 も、図 4 4 の実施態様では、簡素化した旋回接続部 2 4 1 の上を、能動ストラット 2 2 4 と脚部ストラット 2 1 との旋回式追加結合部 2 4 4 まで伸びた脚部ストラット 2 1 の伸長部 2 4 3 によって、簡素化されている。そのため、大腿部 2 0 5 と能動ストラット 2 2 4 の両方を同一ピボット軸で下脚部ストラット 2 1 と結合する必要がなくなっている。しかしそれでも旋回式結合部 2 4 4 は垂直軸および水平軸の回りの回転、即ち自由度 2 の回転ができる必要がある。第一クランク 2 0 1 および第二クランク 2 0 4 は、図 3 6 のこれらクランク 2 0 1、2 0 4 と実質的に同一であるため、図 4 4 には示していない。図 4 4 の変形を最適化することで、図 3 9 の実施態様と実質同じ性能が実現できる。

20

30

#### 【0092】

図 4 4 のこの変形のデザインは、サスペンション（未表示）の追加の可能性を考慮にいれながら、2 段階で最適化された。サスペンションがない場合、足部 4 1 はストライドストローク 5 1 の間、共直線になることだけが求められる。サスペンションを追加した場合には、足部 4 1 をその全運動を通して Y-Z 面と平行な面、例えば図 5 5 の平面  $X = 0$  に拘束することが必要である。それ故、2 種類の最適化を行った。第一の最適化は、全運動を通して足部 4 1 が同一平面運動をするように、受動ストラット 2 0 2 に対して旋回式アンカー結合部 2 2 6 の位置を固定した。第二の最適化は、第二（持ち上げ）クランク 2 0 4（図 4 4 では示していない）の位置および半径を最適な歩行に合わせて設定した。第一の最適化の結果を表 3 に示す。

40

【表 3】

表 3

	X	Y	Z
運動面	5		
240の座標	0.500	0	0
241の座標	5.5	0	2.005
226の座標	-0.877	0	-1.4
233の座標	4.932	0	1.008
41の座標	4.973	0	-5.476

10

足部 4 1 にとって望ましい運動域は  $-2.7 < Y < 2.7$ 、 $-5.9 < Z < -5.0$  および  $X = 5$  である。平面  $X = 5$  からの足部 4 1 の運動誤差を図 4 5 に示した。図の 6 つの曲線は、運動域を画定する面内の 6 つの経路を通る足部 4 1 の X 座標を表したものである。平面  $X = 5$  からの偏差は 0.030 インチ以内である。

## 【0093】

図 4 6 には 6 つの経路が示されている。最適化に用いた誤差関数は、これら 6 つの経路の積分に基づいた。

この方法は、平面内にあるこの経路上にないその他の点の誤差が同程度以下の誤差をもつと仮定している。これら経路間にある曲線の幾つかを調べて、この仮定を検証した。図 4 5 の誤差については、パラメータを適当に選んだ場合、足部 4 1 の動きは望まれる運動域全体について誤差 0.6 % の範囲内である面に拘束されると解釈される。

20

## 【0094】

第二の最適化を行い、駆動軸 2 1 3 および第二（持ち上げ）クランク 2 0 4 の半径の最適位置を見出した。最適パラメータの完全な組み合わせを表 4 に示す。特徴的な足部 4 1 の動きは、図 3 9 のクランクおよびレバー機構の特徴的な動きと実際的に区別がつかない。

【表 4】

表 4

	X	Y	Z
運動面	5		
240の座標	0.500	0	0
241の座標	5.5	0	2.005
226の座標	-0.877	0	-1.4
233の座標	4.932	0	1.008
41の座標	4.973	0	-5.476
クランク軸 2 1 3	-2.729	0	

30

40

ストラットクランク半径 0.33.

## 【0095】

上記の説明は本発明の原理の例示と解釈される。更に、数多くの改良および変更が当業者にとって容易であることから、本発明を上記示し、説明した構造および行程そのものに限定することは望ましくない。したがって、適当な変更および均等物は全て本発明の範囲内であることを主張する。「（一つのものを）含む」、「（複数のものを）含む」、「含んでいる」、「包含している」および「包含する」という言葉は、本明細書の中で使用される場合には、記載された特徴、数値、構成要素またはステップの存在を明記するものであるが、1 またはそれ以上の、その他特徴、数値、構成要素、ステップまたはその組み合

50

わせの存在または追加を排除するものではない。

【図面の簡単な説明】

【0096】

【図1】本発明による物体を推進するための機械式歩行システムの一例を備えた動力化物体の等測図である。

【図2】本発明による機械脚部および足部の一定直進運動を達成するのに必要な角度プロフィールを説明するレバー図である。

【図3】本発明の直進運動を達成するためのクランクシステムを包含する図2に類似のレバー図である。

【図4】図3に示したレバーおよびクランク機構より導出される角度プロフィールに、本発明の一定直進運動に望ましい角関数を重ねた図。 10

【図5】本発明のレバーおよびクランク機構により達成できる、クランク角度に対する脚部正規化速度を示すグラフ。

【図6】本発明による一定直進運動の達成に使用できるクランクおよびレバー機構例の概略図。

【図7】様々なクランク回転角度を通じて図6のクランクおよびレバー機構が描いた直進およびアーチ形経路を示す図。

【図8】図7の経路を掘り詳しく、正確に示した図。図中の点および点間の距離は本発明によるクランク定角回転時のレバー足部の相対線形速度を示している。

【図9】図3、6および7のクランクおよびレバーの平面図および／または機構を示す図であるが、図では図1に類似のムシ型脚部としての使用を構築するのに有用な様に、クランクの水平面からのレバーの垂直に伸びる伸長部を含む。 20

【図10】どのように図9のクランクおよびレバーシステムを傾斜させることを利用して、クランクおよびレバー機構の足部を駆動し、直進部を地面またはその他支持面上に置き、そしてアーチ形部を地面またはその他支持面の上方に持ち上げるかを示す図。

【図11】どのように図10の脚部レバーの形状を変更して、それでも本発明による脚部レバーの末端部の足部の望まれる直進およびアーチ形運動を提供できるかを示す図。

【図12】クランクおよびレバー装置により生じる足部運動例を示す図。

【図13】本発明で複数の脚部をどのような順序で動かし、装置に安定性を提供しながら装置を推進するか示す図。 30

【図14】装置本体に関し幾つかの脚部が横方向にオフセット配置されてもよいことを示す本発明の装置の正面図。

【図15】装置の左右角横方向に配置された脚部のクランクおよびレバー機構が、どのように連動して図14に例示した脚部連続運動を調和し、同時に図16に示す左右各中心脚部に横方向オフセットプロフィールを提供するかを示す6脚型装置の平面図。

【図16】本発明のクランクおよびレバーシステムを用い歩行装置を構造化するのに好適なフレームおよびコンポーネントの正面図。

【図17】図16のフレームおよび機構の側面図。

【図18】図16のフレームおよび機構の上面図。

【図19】図16の装置の底部フレームのみの正面図。 40

【図20】図19のフレームの側面図。

【図21】図19のフレームの上面図。

【図22】図16の機構のモーターおよびギアドライブの正面図。

【図23】図16の機構のモーターおよびギアドライブの側面図。

【図24】図16の機構のモーターおよびギアドライブの上面図。

【図25】クランク駆動機構の望ましくない連続位相遅延を示す、6脚型装置の平面図。

【図26】図25に類似に類似するが、クランク駆動機構の望ましい連続位相進行を例示する平面図。

【図27】本発明の4クランクおよびレバー脚部機構で駆動するムシ型装置の平面図。

【図28】装置に安定性を提供する脚ステップの順番を併せて示す、図27の4脚式装置 50

の平面図。

【図 29】図 27 の 4 脚式装置に類似するが、更に操舵能を加える 2 本の偽脚が 2 本追加されている装置の斜視図。

【図 30】偽脚の構造および機能を描く、図 29 の装置の平面図。

【図 31】前進運動中の偽脚の位置を示す、図 29 の装置の側面図。

【図 32】図 31 に類似するが、逆転／方向転換運動中の、装置一侧にある長い方の偽脚の位置および機能を描いている側面図。

【図 33】逆転／方向転換運動中の、短い方の偽脚の位置および機能を示す、図 29 の装置の反対側側面図。

【図 34】連動する 4 脚の位相の順番を示す平面図。

10

【図 35】本発明のクランクおよびレバーの別実施態様の上面図。

【図 36】図 35 の断面斜線 36-36 で切ったクランクおよびレバーの別実施態様の平面図。

【図 37】脚部駆動装置およびアタッチメントがクランクギアの下にある、本発明の別実施態様の断面図。

【図 38】能動および受動ストラットをクランク角運動発生の構成部分と共に用いて足部を一定直進運動させる、本発明の別実施態様の斜視図。

【図 39】本発明の図 38 の実施態様のクランクおよびレバー機構の正面図。

【図 40】図 39 の断面斜線 40-40 に実質的に沿って切り取った、図 38 の第一クランクおよび脚部レバー機構の拡大図。

20

【図 41】サイクル中の連続する 4 つの角回転時での、大腿部に対する第二（持ち上げ）クランクおよび受動（持ち上げ）ストラットの位置関係を示す概略図。

【図 42】図 39 の実施態様の歩行機構により生ずる、本体に対する足部経路のプロフィール図。

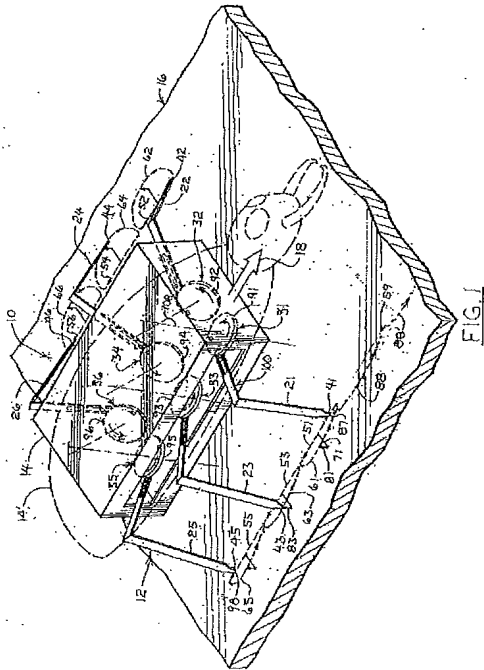
【図 43】支持面に対する図 42 の足部経路のプロフィール図。

【図 44】単純なピボット接続結合を用いた、本発明の図 39 実施態様の変形。

【図 45】本発明の図 44 実施態様の数値最適化例に用いた各種運動経路を通る足部運動図。

【図 46】図 45 に示す数値最適化に用いた  $X = 5$  平面に於ける 6 つの経路例を示す図。

【図 1】



【図 2】

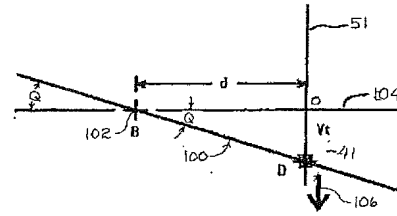


FIG. 2

【図 3】

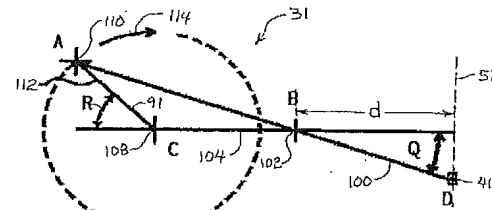
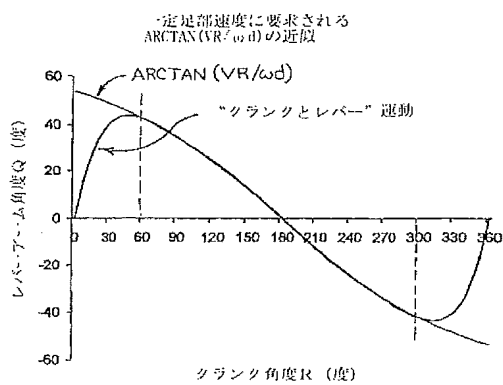
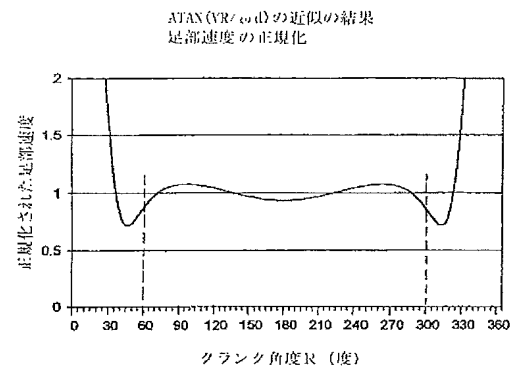


FIG. 3

【図 4】



【図 5】



【図 6】

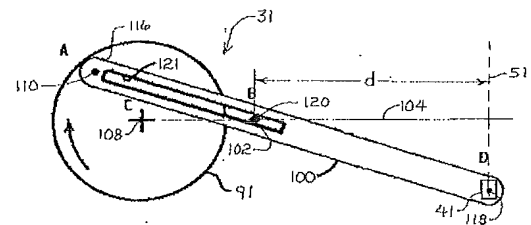


FIG. 6



【図 7】

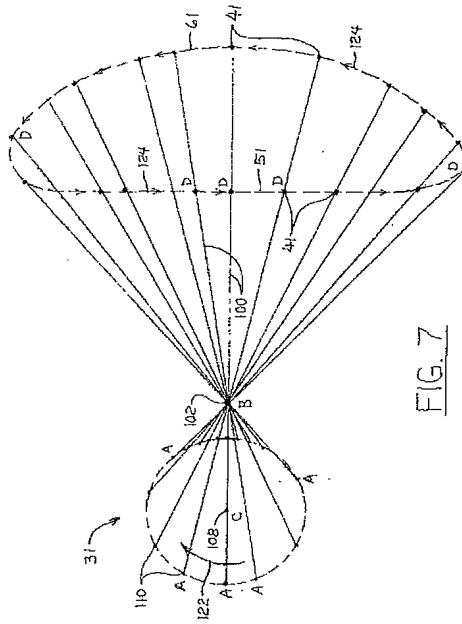


FIG. 7

【図 8】

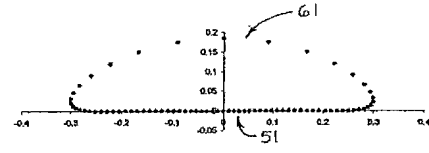


FIG. 8

【図 9】

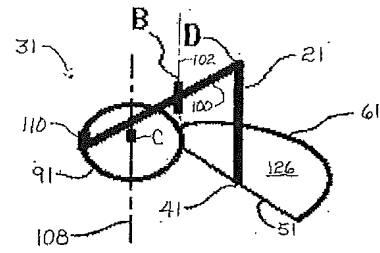


FIG. 9

【図 10】

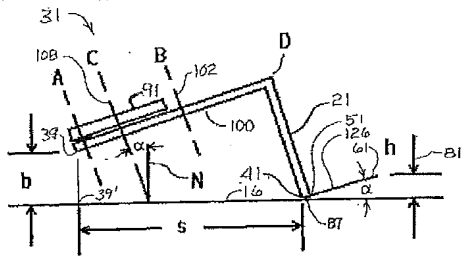


FIG. 10

【図 12】

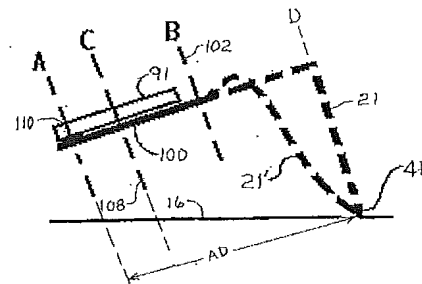


FIG. 12

【図 11】

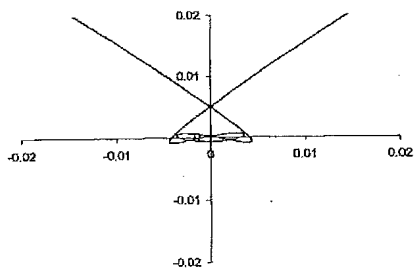


FIG. 11

【図 13】

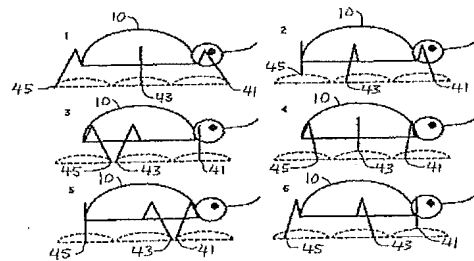
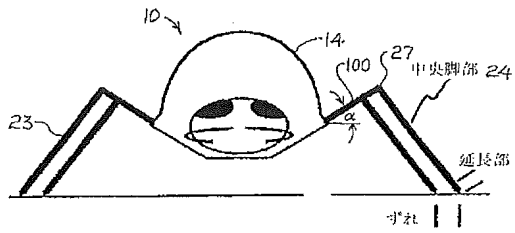


FIG. 13

【図 1 4】



【図 1 5】

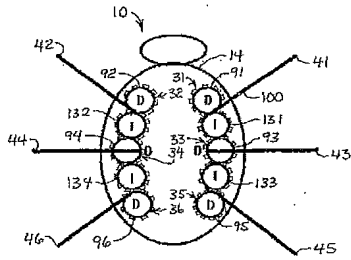


FIG. 15

【図 1 6】

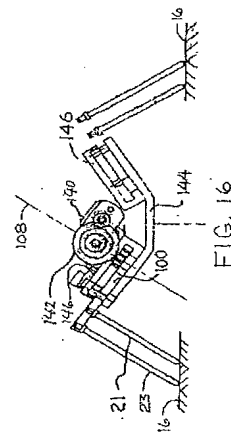


FIG. 16

【図 1 7】

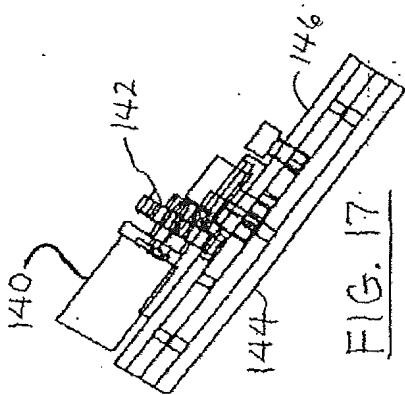


FIG. 17

【図 1 8】

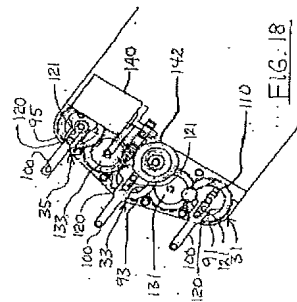
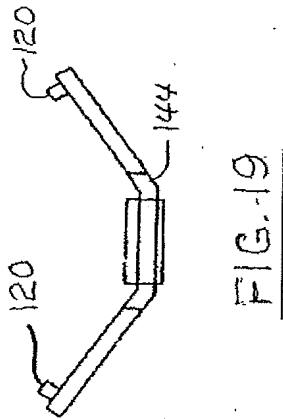
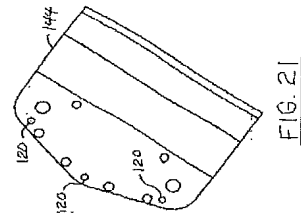


FIG. 18

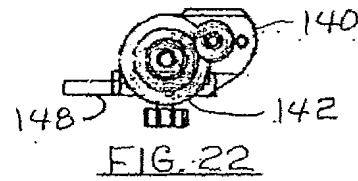
【図 19】



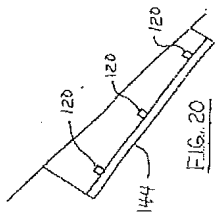
【図 21】



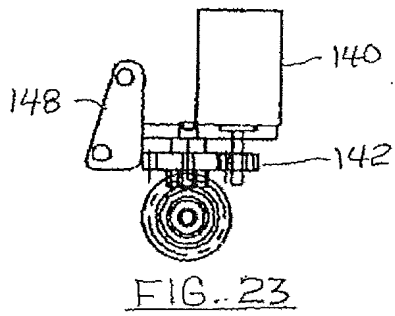
【図 22】



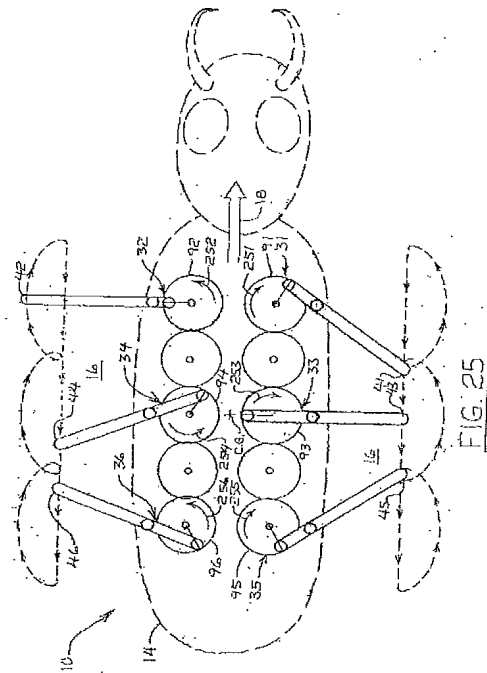
【図 20】



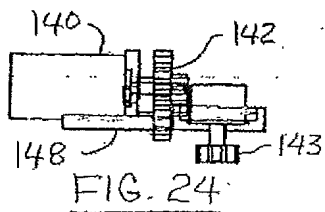
【図 23】



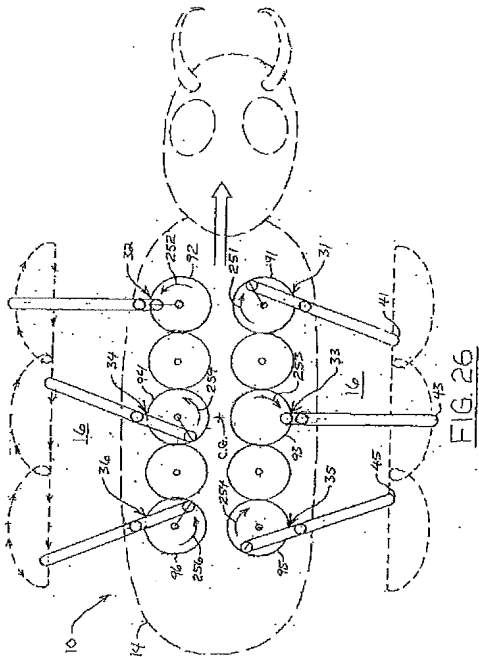
【図 25】



【図 24】



【図 26】



【図 27】

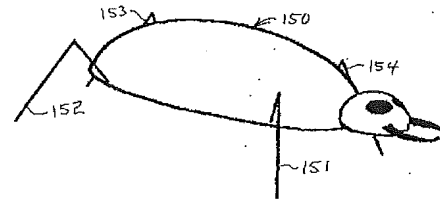
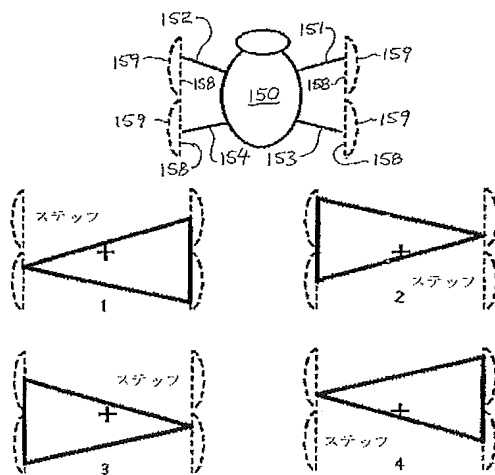


FIG. 27

【図 28】



【図 29】

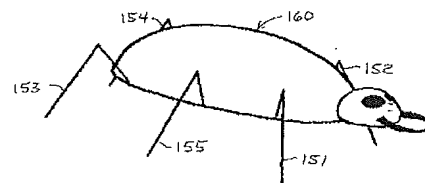


FIG. 29

【図 30】

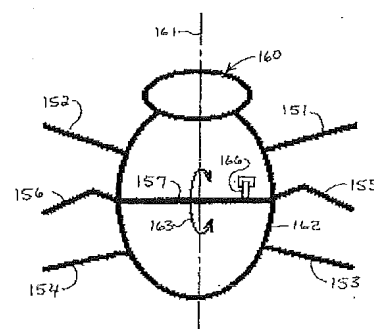


FIG. 30

【図 3 1】

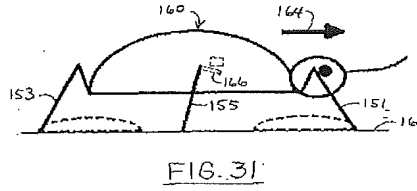


FIG. 31

【図 3 2】

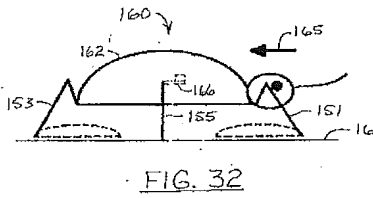


FIG. 32

【図 3 3】

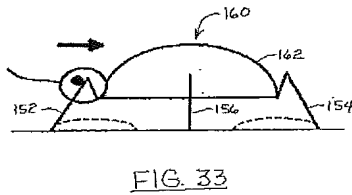


FIG. 33

【図 3 5】

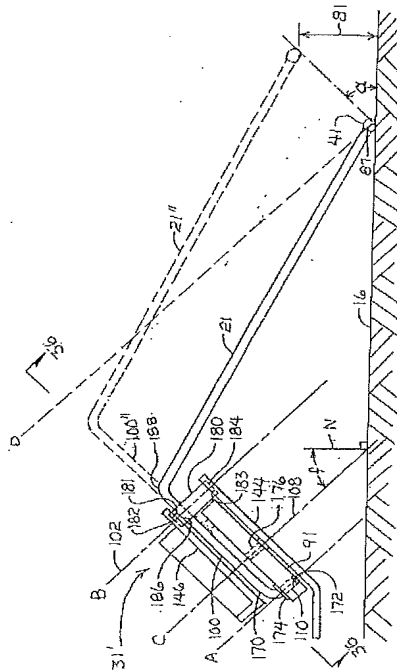


FIG. 35

【図 3 4】

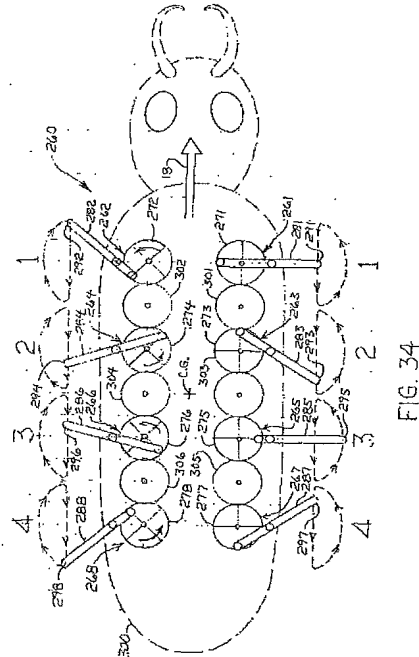


FIG. 34

【図 3 6】

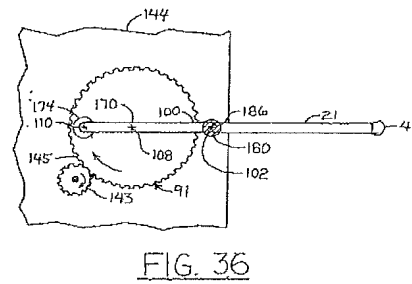


FIG. 36

【図 3 7】

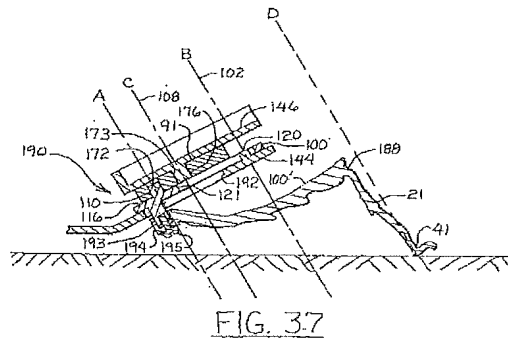


FIG. 37

【図 38】

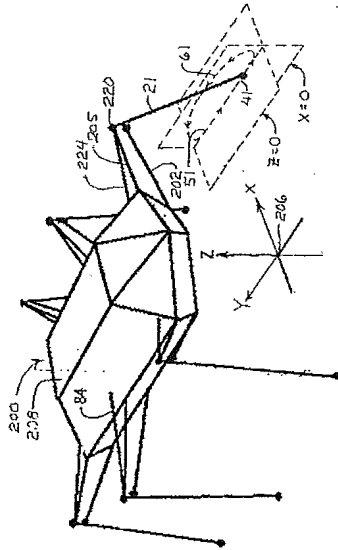


FIG. 38

【図 39】

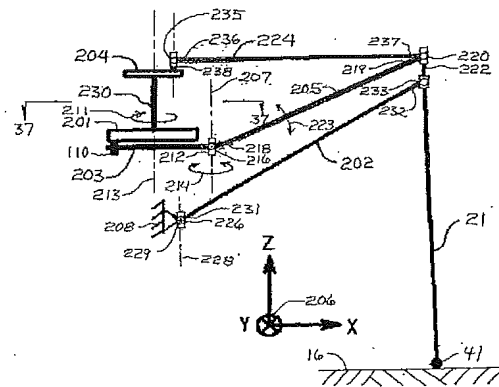


FIG. 39

【図 40】

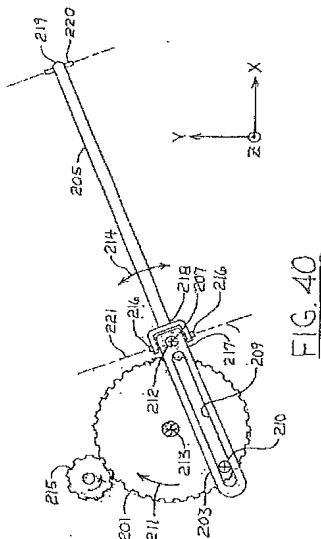
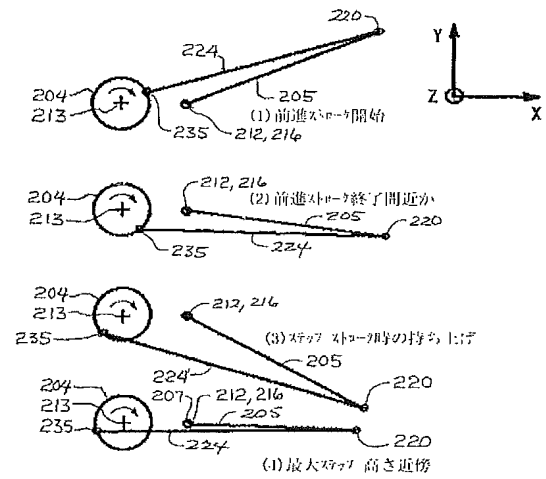


FIG. 40

【図 41】



【図 42】

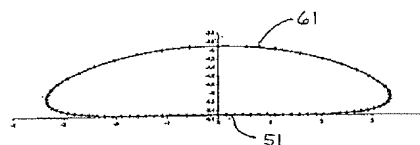


FIG. 42

【図 4 3】

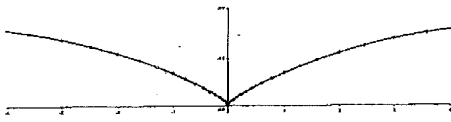


FIG. 43

【図 4 5】

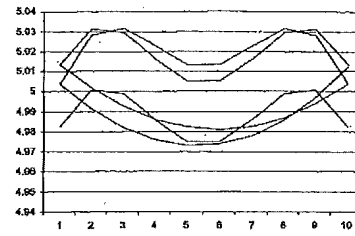


FIG. 45

【図 4 4】

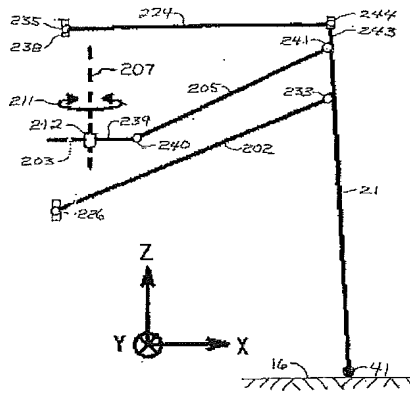


FIG. 44

【図 4 6】

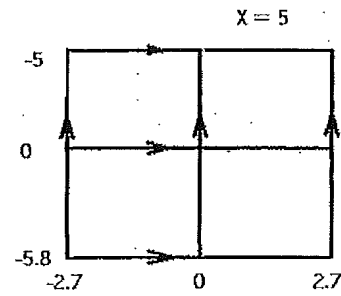


FIG. 46

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US 03/21227

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 B62D57/02 A63H11/18		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 B62D A63H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 1 511 928 A (VACLAV ZBORIL) 14 October 1924 (1924-10-14) the whole document	1-3, 17-22
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 134 (M-479), 17 May 1986 (1986-05-17) -& JP 60 259580 A (KOGYO GIJUTSUIN;OTHERS: OJ), 21 December 1985 (1985-12-21) abstract; figures 1,2	1,17,18
A	US 3 680 395 A (DOUGLAS KENNETH R) 1 August 1972 (1972-08-01) page 2, line 13-117; figures 1A-1D	1-3, 17-19
A	US 1 574 679 A (ALBERT NILSSON FRITZ) 23 February 1926 (1926-02-23) the whole document	1-3, 17-19
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 4 November 2003		Date of mailing of the international search report 12/11/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Blondeau, A



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/JP 03/21227

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 1511928	A	14-10-1924	NONE	
JP 60259580	A	21-12-1985	JP 1639326 C JP 3035074 B	18-02-1992 24-05-1991
US 3680395	A	01-08-1972	NONE	
US 1574679	A	23-02-1926	NONE	

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MC,MK,MN,M W,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM ,ZW

(72)発明者 ランドル, ミッチ

アメリカ合衆国、コロラド 80304、ボールダー、ホーソーン プレイス、2630

Fターム(参考) 2C150 CA02 DA05 DA28 EB01 EC15

3C007 CS08 HS27 HT11 HT21 HT33 WA05 WA15 WB02 WB04